

Mapas de peligrosidad por inundación pluvial: herramienta y casos de estudio

S. Perales

PMEnginyeria, Valencia, España.

G. Valls

Planifica Urbanismo y Gestión, Castellón, España.

P. Coombs

Micro Drainage, Newbury, UK.

RESUMEN: Tradicionalmente, la evaluación de la parte del riesgo relativa a evaluar la probabilidad de que se produzca una inundación (con la generación de mapas de peligrosidad por inundaciones), se realiza para fenómenos de inundación fluvial. Sin embargo, muchas de las inundaciones acaecidas frecuentemente son de origen pluvial, y según la Directiva 2007/60/EC, deben tenerse en consideración. Este artículo presenta una herramienta que permite realizar mapas de peligrosidad por inundación pluvial con facilidad, a partir de la información topográfica de la zona de estudio. Con esta herramienta se puede no sólo predecir los efectos que fuertes lluvias tendrían sobre un asentamiento, sino prever cuáles son las zonas peligrosas en un nuevo ámbito y realizar un planeamiento consecuente con dicha información. Como casos de estudio se presentan el de las inundaciones acaecidas en Thatcham (Berkshire, Reino Unido) en 2007 y el diseño del nuevo Polígono Industrial de Soterranyes (Vinaròs, España).

ABSTRACT: Traditionally, the aspect of risk evaluation related to the probability of flood occurring (with the generation of flood hazard maps), is undertaken for fluvial flood phenomena. Notwithstanding, many frequent floods have a pluvial origin and, in accordance to Directive 2007/60/EC, should be taken into consideration. This article presents a tool that produces pluvial flood hazard maps in an easy way, from topographic information of the studied area. This tool can, not only predict the effects of heavy storms in urban areas, but also predict areas in risk of flooding for new developments, so urban planning decisions can be taken in accordance to that information. Two case studies are presented: Thatchman 2007 floods (Berkshire, UK) and the project design for the new Soterranyes Industrial Development (Vinaròs, Spain).

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Marco Legislativo

La Directiva 2007/60/EC, de 23 de octubre de 2007, relativa a la evaluación y gestión de los riesgos de inundación, requiere a los estados miembros, a más tardar el 22 de Diciembre de 2011, la evaluación preliminar del riesgo de inundación sobre la base de la información que se disponga o pueda deducirse con facilidad. A partir de ellos, los mapas de peligrosidad por inundaciones y los mapas de riesgo de inundación deberán estar finalizados a más tardar el 22 de Diciembre de 2013. A los efectos de esta Directiva, una inundación es un anegamiento temporal de terrenos que no están normalmente cubiertos por agua. Incluye las inundaciones ocasionadas por ríos, torrentes de montaña, corrientes de agua intermitentes del Mediterráneo y las inundaciones causadas por el mar en las zonas costeras, y puede excluir las inundaciones de las redes de alcantarillado.

En España, la transposición de esta directiva se realiza mediante el Real Decreto 903/2010, de 9 de julio, de evaluación y gestión de riesgos de inundación, aunque parte de los trabajos requeridos se empezaron a realizar con la entrada en vigor del Real Decreto 9/2008, de 11 de enero, por el que se modifica el Reglamento Público Hidráulico, creándose el Sistema Nacional de

Cartografía de Zonas Inundables, (SNCZI). Actualmente se está desarrollando la citada cartografía, centrándose en las inundaciones de origen fluvial y sus interacciones con el mar en zonas costeras.

A nivel Regional, en la Comunidad Valenciana (se cita esta región por ser la del caso de estudio español), se aprobó por Acuerdo de 28 de enero de 2003, del Consell de la Generalitat, el Plan de Acción Territorial de carácter sectorial de Prevención de Riesgos de Inundación en la Comunidad Valenciana (PATRICOVA). Este instrumento de Ordenación de Territorio a nivel regional, cuyas determinaciones son de obligado cumplimiento para todos los planes urbanísticos jerárquicamente iguales ó inferiores (otros planes territoriales, sectoriales ó integrados, Planes Generales, Planes Parciales, etc.), elaboró una Cartografía de Riesgos de Inundación a escala 1/50.000, contemplando los principales cursos fluviales de la Comunidad (tanto de cursos de agua permanente cómo intermitente, pero con un ancho mínimo de 3 m y una cuenca vertiente mínima de 0,5 km²). En aquellas zonas colindantes a los cursos fluviales que la cartografía identifica como potencialmente inundables, se establecen, en función del nivel de riesgo identificado (varía de nivel 1 a nivel 6), prohibiciones ó restricciones al desarrollo urbano. Consciente de la escala de análisis y estudio, el instrumento establece la posibilidad de acotar con mayor precisión las áreas de prohibición/restricción, previo estudio de inundabilidad a nivel local, estudio en el que se pueden proponer medidas protectoras ó mitigadoras de la inundación, eliminando ó variando el nivel de riesgo de la zona, y por tanto sus restricciones de desarrollo urbano. Estos estudios deben responder a una metodología y contenido determinado, y deben ser aprobados por la autoridad competente, en este caso, la Confederación Hidrográfica del Júcar (CHJ).

Más recientemente, por el Decreto 81/2010, de 7 de mayo, del Consell, se aprueba el Plan Especial ante el Riesgo de Inundaciones de la Comunidad Valenciana, cuyo objetivo es garantizar una rápida, eficiente y coordinada acción de medios públicos y privados en situaciones de emergencia por inundaciones, y minimizar sus consecuencias. Este instrumento obliga a los municipios que estén en riesgo de inundación medio o alto, y a aquellos afectados por Planes de Seguridad de Presa, a elaborar un Plan de Acción Municipal (PAM). A pesar de que el documento indica que las inundaciones locales causadas por lluvias torrenciales no han sido consideradas debido al hecho de que pueden afectar a cualquier parte del territorio, si resalta la severidad que los citados episodios pueden alcanzar en zonas urbanas.

A nivel municipal, más concretamente en el ámbito urbano, cuando se redacta o revisa el Plan general de Ordenación Urbana (PGOU) o un Plan Parcial que lo desarrolle, salvo que en su ámbito exista algún área inundable previamente identificada en la cartografía del PATRICOVA o SNCZI (cabe recordar que estas identifican sólo las zonas de inundación de origen fluvial), no se tienen en cuenta, por lo general, criterios de riesgo de inundación, ni se realizan estudios para determinar zonas con mayor riesgo que otras frente a inundaciones de origen pluvial a la hora de diseñar el espacio urbano y los usos permitidos en cada zona. La protección frente a las inundaciones pluviales se posterga a la redacción del proyecto de urbanización, y los criterios que éste debe seguir para el diseño de la red de drenaje son los que indique la normativa urbanística municipal, encontrando aquí una gran variabilidad a lo largo del territorio nacional, tanto en niveles de seguridad (periodos de retorno entre 5 y 25 años) cómo en metodología (selección de la lluvia de diseño, método de cálculo, etc.), aspecto éste último normalmente ausente. Pero lo más preocupante sea quizá que para periodos de retorno superiores a los indicados, no existe obligación de análisis ni estudio de lo que sucede en la ciudad con las aguas de escorrentía, que habiéndose excedido la capacidad de desagüe del sistema de drenaje, circula por las calles.

Aunque ya no es objeto del presente artículo, también interesa apuntar que tampoco existe obligación alguna en las normativas municipales, por lo general, de estudiar la contaminación que las aguas de escorrentía urbana producen en el medio receptor.

Destacar por tanto que la legislación vigente, tanto en la Comunidad Valenciana como en el resto de España en general, está avanzada o avanzando en la elaboración de mapas de riesgo de inundación de origen fluvial y sus correspondientes limitaciones y control de los usos del suelo junto a los ríos y barrancos, pero en cambio, existe un vacío legislativo y de actuaciones en marcha respecto a los riesgos de inundación de origen pluvial y control de usos del suelo derivado, especialmente en zonas urbanas con grandes áreas impermeables.

1.2 *Los fenómenos de inundación pluvial*

Tradicionalmente, la evaluación de la parte del riesgo relativa a evaluar la probabilidad de que se produzca una inundación (con la generación de mapas de peligrosidad por inundaciones), se realiza para fenómenos de inundación fluvial. Sin embargo, muchas de las inundaciones acaecidas frecuentemente son de origen pluvial. Suelen estar producidas por eventos de precipitación cortos pero intensos y los daños suelen ser materiales, aunque en ocasiones también causan víctimas mortales.

Como ejemplo reciente cabe citar el caso de las intensas lluvias que afectaron el municipio de Cañete de las Torres (Córdoba, España) el 18 de mayo de 2011. La tromba de agua (entre 100 y 140 l/m² en menos de una hora, con niveles de agua de hasta 2 m por encima de la calle) provocó la muerte de una mujer octogenaria que fue arrastrada por la fuerte corriente de agua. Además desplazó unos 30 coches, dejó entre 200 y 300 viviendas y locales afectados y unas 40 personas tuvieron que ser temporalmente realojadas (Europa Press 2011).

1.3 *¿Cómo reducir la probabilidad de inundación pluvial?*

Los fenómenos de inundación pluvial sí se tienen en cuenta en otras partes de Europa. Se describe a continuación, a modo de ejemplo, el caso del Reino Unido.

Las inundaciones acaecidas en el oeste de Inglaterra en julio de 2007 (descritas en el primer caso de estudio de este artículo), provocaron una profunda reflexión en Gran Bretaña sobre las condiciones de diseño de los sistemas de drenaje, orientándose en la actualidad hacia la gestión del riesgo. Hasta ese momento, tanto la Agencia Medioambiental como otros organismos ingleses centraban su interés en las inundaciones de tipo fluvial y costero, ignorando los fenómenos de inundación pluvial ya que pensaban, de manera acertada, que la predicción y estimación de los daños causados por inundación pluvial era muy difícil. Sin embargo, la tecnología se ha desarrollado rápidamente y el realizar dichos cálculos ya no entraña dificultad (como queda demostrado a lo largo de este artículo), y los fenómenos de inundación pluvial ya se tienen en cuenta a la hora de elaborar los mapas de peligrosidad y riesgo.

La Directiva Europea sobre Inundaciones (Directiva 2007/60/EC) fue traspuesta al ordenamiento jurídico inglés a través del Reglamento de Riesgo de Inundación (The Flood Risk Regulations 2009), vigente desde diciembre de 2009, y que incluye en la definición de inundación la causada por fuertes lluvias, independientemente de que esté o no combinada con inundaciones de origen fluvial. En abril de 2010, un mes antes del cambio en el gobierno, se aprobó la Ley de Inundaciones y Gestión de Agua (Flood and Water Management Act 2010) que legisla, además de aspectos de gestión de riesgos por inundación (originadas por fuertes lluvias, por rotura de diques y presas, por mareas, por aguas subterráneas y por otras causas, incluyendo una combinación de las anteriores, pero excluyendo los fallos de la red de saneamiento no relacionados con el agua de lluvia y las inundaciones causadas por roturas del sistema de abastecimiento), otros temas como el drenaje sostenible (SuDS) y los embalses. El borrador de esta Ley fue público y ampliamente debatido por los actores involucrados, tanto a nivel nacional como local.

Para el caso de nuevos desarrollos urbanos, y previamente a la Directiva Europea sobre Inundaciones, en el Reino Unido ya se consideraban las escorrentías generadas en el ámbito por eventos de precipitación mayores a los de diseño de la red de drenaje. El documento "Sewers for Adoption" (2006), establece unos criterios de diseño para los sistemas de drenaje urbano tales que no deben producirse inundaciones en ninguna parte del ámbito de proyecto para un período de retorno de 30 años, pero además obliga a estudiar qué es lo que ocurre con las aguas de escorrentía para periodos de retorno superiores, y diseñar los espacios urbanos en consecuencia para así asegurar niveles de protección adecuados para todas las parcelas públicas y privadas. El documento homólogo en Escocia (Sewers for Scotland 2007) requiere comprobaciones de seguridad frente a inundaciones en las propiedades dentro y fuera del ámbito de desarrollo para las tormentas de 100 o 200 años de período de retorno (según el caso), identificando las vías de desagües de las escorrentías y los potenciales efectos que las inundaciones puedan provocar.

En la actualidad, la normativa y reglamentación de planeamiento tiene por objetivo asegurar que el riesgo de inundación se tenga en cuenta en todas las etapas de planeamiento, de modo que tanto los entes regionales como las autoridades locales preparen e implementen estrategias que conlleven a realizar desarrollos sostenibles a través de la evaluación, la gestión y la reduc-

ción del riesgo, contemplando los posibles efectos del Cambio Climático (Planning Policy Statement 25 2010).

Considerando lo anteriormente expuesto, y para evitar que sucesos como el presentado en el apartado anterior se sucedan año tras año a lo largo de toda la geografía española, los autores consideran que en España es necesario que los análisis, estudios y mapas de riesgos por inundación fluvial actualmente existentes o en proceso de elaboración sean complementados con los fenómenos de inundación pluvial, y sean de obligada observancia desde las primeras etapas de la planificación urbana y regulación de usos del suelo, para así prevenir los daños causados por las inundaciones en personas, bienes y medioambiente.

Mediante oportunos diseños, o modificaciones en caso de zonas consolidadas, del paisaje y planeamiento urbano, con ubicación adecuada de los edificios, las calles y demás espacios públicos, debe garantizarse la existencia de vías de desagüe libre para tormentas extremas. Así mismo, la realización de mapas de por inundación pluvial (y fluvial en su caso) en cascos urbanos existentes, es fundamental a la hora de realizar los Planes de Acción Municipal (u otros planes equivalentes), que contemplando, por ejemplo, medidas no estructurales de fácil implementación como sistemas de alerta y aviso, podrían evitar muchos de los daños causados por lluvias torrenciales. Cabe recordar que las simulaciones lluvia-escorrentía a realizar no deben limitarse a estudiar la escorrentía producida por el período de retorno de diseño del sistema de drenaje, sino que deben analizar qué sucede con el agua pluvial para periodos de retorno superiores (excedida la capacidad de la red de drenaje), tanto dentro de los ámbitos en desarrollo como aguas abajo de los mismos.

Estos estudios y mapas de peligrosidad y riesgo que contemplen también los fenómenos de inundación pluvial, dada la escala de trabajo, deberían ser responsabilidad de las administraciones regionales y locales, y podrían realizarse como documento complementario a los PGOU, Planes Parciales, Planes de Acción Municipal y/o otros instrumentos de ordenación del Territorio de ámbito municipal.

2 HERRAMIENTA PARA GENERAR MAPAS DE PELIGROSIDAD POR INUNDACIÓN PLUVIAL

Actualmente se dispone de la tecnología y medios adecuados para poder realizar simulaciones lluvia-escorrentía que permitan identificar con cierta facilidad las zonas con mayor riesgo de inundación de origen pluvial, permitiendo actuar de manera preventiva desde la etapa de diseño de los nuevos desarrollos urbanos, evitando las costosas soluciones estructurales a posteriori que en tantas ocasiones han sido necesarias. Para el caso de cascos urbanos consolidados, es una herramienta fundamental para la implantación de medidas de gestión y reducción del riesgo.

El sector industrial de desarrollo de software ha respondido a las nuevas necesidades generando programas capaces de simular el flujo de las inundaciones sobre el terreno existente, teniendo en cuenta el análisis hidráulico tanto en una como en dos dimensiones, y su interacción. Aunque los trabajos comenzaron ya en la segunda mitad del s. XX, sólo recientemente la potencia de los ordenadores ha hecho posible conseguir tiempos computacionales razonables. En este artículo se presentan dos casos de estudio en los que se ha empleado el módulo FloodFlow del programa informático WinDes[®], desarrollado por la empresa Micro Drainage.

FloodFlow es un avanzado programa que permite calcular flujo en 2D sobre un modelo digital del terreno. Su avanzada aptitud y utilidad han sido reconocidas por el "Informe Pitt" (Pitt 2008) y se ha utilizado con éxito en los planes de gestión de aguas superficiales realizados por DEFRA (departamento gubernamental responsable de la legislación y reglamentación de Medio Ambiente, Alimentación y Asuntos Rurales del Reino Unido).

El programa incluye relaciones entre simulaciones 1D y 2D muy potentes y robustas. Trabaja dividiendo el terreno en una malla uniforme (definible por el usuario) y es apto para modelar el flujo y las inundaciones tanto en ámbitos urbanos como rurales. Tiene una interfaz con archivos CAD y GIS para evaluar, gestionar y producir datos tanto de entrada como de salida.

Este módulo identifica las corrientes de agua generadas en el ámbito de estudio ante una precipitación, con información sobre la profundidad, dirección y velocidad de las escorrentías. Los resultados de esta herramienta han sido contrastados, entre otros, en el caso de las inundaciones

que tuvieron lugar en el pueblo de Thatcham (Berkshire, Inglaterra) el 20 de julio de 2007, descrito en el siguiente apartado.

Con esta herramienta informática se puede no sólo predecir los efectos que fuertes lluvias tendrían sobre un asentamiento, sino prever cuáles son las zonas peligrosas en un nuevo ámbito y realizar un planeamiento consecuente con dicha información.

3 CASOS DE ESTUDIO

3.1 Casco urbano de Thatchman (Berkshire, Inglaterra): Reproducción de las inundaciones de 20 de julio de 2007

El 20 de Julio de 2007, una tormenta inusual barrió el Oeste de Inglaterra. Aunque los valores de precipitación sobre Inglaterra no fueron extremos atendiendo a estándares mundiales, los daños producidos sobre propiedades y bienes se elevaron hasta el punto de resultar los más altos registrados en todo el mundo en el 2007. Muchas ciudades inglesas sufrieron inundación durante ese mes, de hecho durante ese año, hubo 200 inundaciones de importancia alrededor del mundo que afectaron a 180 millones de personas.

En Inglaterra, 55.000 propiedades se inundaron, 7.000 personas fueron rescatadas y 13 personas murieron. Fue el verano más lluvioso desde que existen registros históricos en Inglaterra, con valores extremos de precipitación en muy cortos periodos de tiempo. Las reclamaciones a las compañías de seguros ascendieron hasta los 3.000 millones de Libras.

Este no fue el coste total para la economía Británica ya que la disfuncionalidad e ineficiencia del sistema, perdida de horas de trabajo y tratamientos médicos no son objeto de reclamación a las aseguradoras. Fue el periodo más largo de ausencia de prestación de servicios básicos desde la Segunda Guerra Mundial, con al menos medio millón de personas sin servicio de agua potable o electricidad, y con las vías de comunicación terrestre inutilizables. Muchas familias evacuadas no pudieron regresar a sus hogares hasta un año después.

Gran parte de las propiedades inundadas no estaban en zonas clasificadas de riesgo por inundación; esto es debido a que tanto la Agencia Medioambiental como otros organismos habían centrado su interés en las inundaciones de tipo fluvial y costero.

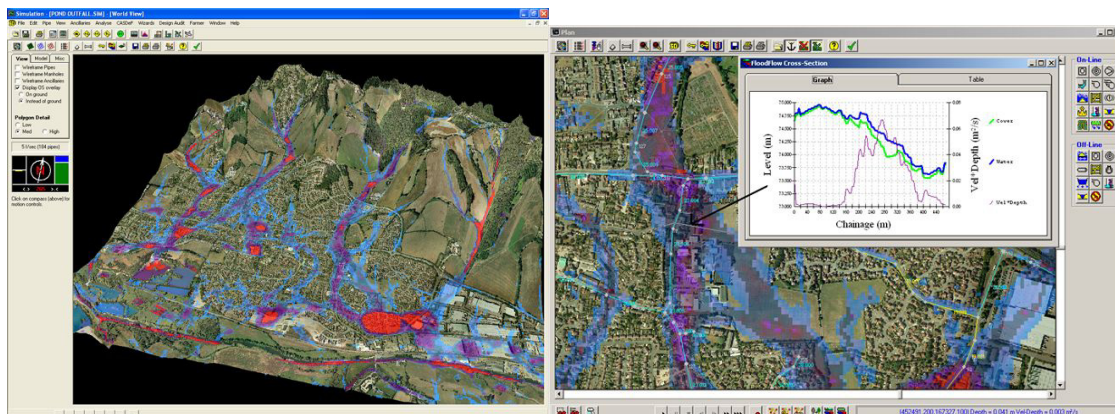
Thatcham, una ciudad en Berkshire, fue una de las más afectadas, y la inundación de las 1.107 casas afectadas se debió a efectos de inundación repentina ("flash flood"). Aunque algunas de estas inundaciones fueron causadas por lluvias mucho más severas que las que cruzaron Inglaterra, la intensidad del daño realmente causado está más relacionada con la capacidad de las infraestructuras existentes para adaptarse a dicha situación.

El análisis de la *Met Office* determinó que las lluvias del 20 de Julio responden a una probabilidad de ocurrencia de 169 años de período de retorno. Este dato no explica por sí sólo el efecto que la tormenta ocasionó en Thatcham. En los 30 días precedentes al 20 de Julio se acumularon sobre Thatcham hasta 113 mm de precipitación. Durante la mañana del 20 de Julio cayeron 100 mm más de agua. 82 mm se acumularon en las últimas 6 horas de la tormenta teniendo así una lluvia muy intensa y continuada sobre un terreno muy húmedo. Se trató de la tormenta perfecta desde el punto de vista de maximizar la generación de escorrentía superficial, y el fatídico tramo final de las últimas 6 horas de la tormenta produjo un evento de 250 años de período de retorno.

La capacidad de las infraestructuras hidráulicas para hacer frente a fenómenos de precipitación viene condicionada fundamentalmente por la climatología histórica y el tamaño y características hidro-morfométricas e hidro-geológicas de la cuenca vertiente. Los ríos y barrancos tienen una determinada cuenca de aportación que con el tiempo ha ido conformando su morfología, dejando definidas y documentadas sus llanuras de inundación. Sin embargo, las inundaciones de Thatchman de verano de 2007 no fueron provocadas por condiciones fluviales, sino que tuvieron un origen pluvial, es decir, se produjeron a causa de unas lluvias intensas y prolongadas sobre la ciudad que saturaron las cuencas provocando escorrentías extremas.

Este evento fue escogido por la empresa Micro Drainage Ltd. (desarrollador de software) para testear la poderosa herramienta de simulación hidrológica-hidráulica que habían desarrollado. Al día siguiente de las inundaciones, el equipo de investigadores y programadores descargó de internet la cartografía de Thatchman y construyeron y analizaron el modelo en medio día, obte-

niendo resultados muy satisfactorios. No obstante, el camino del progreso es continuo, y este caso de estudio ha servido desde entonces para mejorar la herramienta informática FloodFlow (descrita en el capítulo anterior).



Figuras 1ª y 1b. Modelado de las escorrentías producidas por las lluvias del 20 de julio de 2007 en Thatchman (Inglaterra).

Las direcciones preferentes de flujo, así como los niveles de agua y la velocidad de las escorrentías identificadas por el modelo (Figuras 1a y 1b), fueron validadas con las reclamaciones realizadas por los vecinos y las imágenes tomadas durante el evento. La Figura 1b analiza con detalle los flujos en la calle “Stoney Lane”, a la altura de un colegio, cuya inaceptablemente alta velocidad indica que los vehículos podrían ser arrastrados por el agua, como así experimentaron los padres que ese día fueron a recoger a sus hijos al Colegio Kennet.

También se analizaron las escorrentías que generaría una tormenta de diseño de una duración significativa y un período de retorno elevado (6 horas y 100 años de período de retorno), obteniendo resultados similares.

Tras este análisis realizado a partir únicamente de la cartografía, la siguiente fase implica el modelado de la red de saneamiento y drenaje, cuya información de partida (las características de la propia red) suele no estar disponible y ser de costosa obtención (tanto económicamente como en tiempo). El primer análisis realizado puede servir para identificar zonas críticas y delimitar las zonas de la red de saneamiento y drenaje que conviene modelar.

La conclusión más relevante que cabe extraer de este caso de estudio es que las inundaciones de Thatchman eran previsibles, y la identificación del riesgo junto con una adecuada planificación y la implementación de medidas no estructurales (p.ej. avisos a la población), podrían haber contribuido a que las consecuencias fueran mucho menores.

3.2 Polígono Industrial de Soterranyes (Vinaròs, España): Planeamiento basado en las escorrentías naturales del ámbito

El ámbito de proyecto está situado en la Partida Soterranyes, Polígono 43, en la parte Sur del término municipal de Vinaròs. Se trata de un área de 2.525.052 m² delimitada por el Plan General reservada para la constitución de patrimonio público de suelo, lo que permitirá la construcción de un polígono industrial público que ofertará parcelas de grandes dimensiones para las medianas y grandes empresas que quieran establecerse en la comarca.

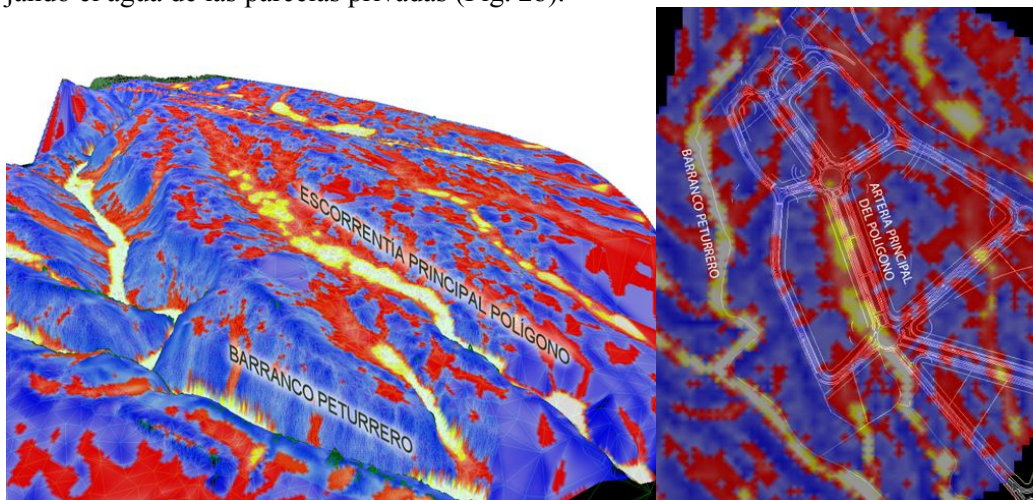
El uso predominante del área son los cultivos de secano, muchos de ellos actualmente abandonados. La presencia colindante del sistema de barrancos Peturrero, Barana y Aigua Oliva, así como de las tradicionales casas de volta hicieron que la Administración promotora (Ayto de Vinaròs), pusiera su principal interés en la integración paisajística del polígono en el territorio “a pesar” de su uso. Así mismo, el polígono debía ser puntero desde el punto de vista medioambiental, debiendo ser muy respetuoso con la naturaleza en su expresión más amplia tanto en la fase de construcción como en su uso y mantenimiento.

Siguiendo esta filosofía, se ha dado especial importancia a los siguientes aspectos relativos a las aguas pluviales a la hora de diseñar la urbanización:

- Protección, e incluso recuperación, del barranco del Peturrero y su ribera izquierda, en ocasiones invadido por los cultivos. Esto llevó a reducir el área originalmente prevista para el polígono.
- Adaptación de la estructura viaria del polígono y parcelas edificables a las escorrentías preexistentes dentro del ámbito.
- Diseño del drenaje utilizando técnicas de Sistemas de Drenaje Sostenible (SuDS), de forma que se reproduzca en el mayor grado posible la hidrología natural existente en el ámbito.
- Ordenanza de uso y gestión eficiente del agua que requiere a las parcelas privadas colaborar en el drenaje sostenible del conjunto del polígono, aprovechando y laminando las aguas de lluvia, además de permeabilizar al máximo posible los espacios privados.

Se prevé desarrollar las 220 ha del polígono en cuatro fases, la primera de ellas de unas 63 ha (aprox 1/3 del total). Se ha definido la ordenación del sector integrando las escorrentías naturales, y para la Fase I, se ha realizado el proyecto de urbanización diseñando en detalle el sistema de drenaje mediante SuDS.

Tanto para el análisis de la hidrología natural preexistente, como para el diseño del drenaje del polígono, se ha utilizado el programa especializado WinDes[®], de la empresa Micro Drainage. La Figura 2a muestra las escorrentías preexistentes del ámbito, cuyo análisis ha permitido identificar el claro límite natural del polígono que supone el barranco del Peturrero y su ribera izquierda, así como el resto de limahoyas y circulaciones naturales del agua de lluvia en el interior del polígono, de modo que los ejes de las calles han integrado dichos flujos preferentes, alejando el agua de las parcelas privadas (Fig. 2b).



Figuras 2a y 2b. Análisis de la escorrentía natural del sector e integración de las mismas en la ordenación.

Definida la ordenación del sector integrando las escorrentías naturales, las infraestructuras de drenaje se diseñaron mediante el uso de sistemas de drenaje sostenible (SuDS), cuya filosofía es la de reproducir, de la manera más fiel posible, el ciclo hidrológico natural previo al desarrollo urbanístico, con el objetivo de minimizar los impactos en cuanto a la cantidad y la calidad de la escorrentía (en origen, durante su transporte y en destino), así como maximizar la integración paisajística y el valor social y ambiental de la actuación (Perales y Andrés-Doménech 2008).

Algunos tipos de SuDS incluidos en el diseño son: áreas de biorretención, balsas de laminación, franjas filtrantes, sistemas de control de flujo, pavimentos permeables y cunetas vegetadas. A modo de ejemplo, la Figura 3 muestra la sección de la arteria principal del polígono. La mediana, localizada sensiblemente dónde se situaba la escorrentía natural, se convierte en una cuneta vegetada y naturalizada que conduce las aguas de escorrentía, laminadas y tras procesos de depuración natural, hacia el barranco del Peturrero.

El sistema de drenaje se ha diseñado para un periodo de retorno de 15 años, pero además, usando la legislación británica como referencia, se ha simulado el comportamiento de las escorrentías superficiales frente a una lluvia de 100 años, obteniéndose que el agua fluye de forma controlada por las calles hasta descargar en el barranco del Peturrero, sin causar ningún problema en las parcelas privadas.

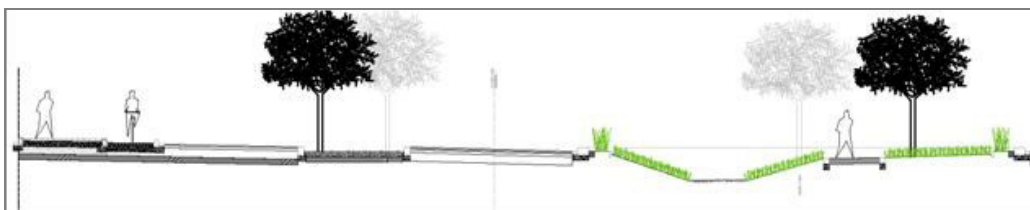


Figura 3. Sección tipo del vial principal.

Una propuesta de ordenación y diseño urbano que previamente no hubiera analizado el riesgo pluvial obteniendo las zonas de flujo y posible acumulación de agua, podría haber definido los viales atendiendo a otros criterios (funcionales como parcelas rectangulares ó cuadradas), situándolos fuera de las escorrentías naturales, obligando posteriormente al proyecto de urbanización a mayores movimientos de tierras y a diseñar una red de colectores enterrados de grandes dimensiones para evacuar la lluvia de 15 años de período de retorno, seguramente sin haber identificado la salida natural de las aguas de la escorrentía principal hacia el Peturrero, con el consiguiente riesgo de haber situado alguna parcela privada en esa zona potencialmente inundable por causas de origen pluvial. El diseño del drenaje se completa con ordenanzas y programas de gestión de aguas pluviales tanto en el espacio público como en el privado. También cabe señalar que hasta el momento se han realizado dos foros de participación ciudadana.

4 CONCLUSIONES

El presente artículo propone una metodología y una herramienta que permite la fácil elaboración de mapas de peligrosidad de inundación de origen pluvial (como complemento al análisis de inundaciones de origen fluvial) a partir de información cartográfica de la zona. Estos mapas, a partir de los cuales generar los mapas de riesgo, se deberían incorporar en los instrumentos de planeamiento y gestión de ámbito municipal, convirtiéndose en uno de los criterios y/o condicionantes de la planificación y gestión urbana, como ya sucede en otros países.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren expresar su agradecimiento a Stuart Clarke (West Berkshire Council) y a Brian Cafferkey (WSP Development and Transportation) por su apoyo en promover las lecciones aprendidas tras las inundaciones del 2007 en el Reino Unido, así como al Ayuntamiento de vinaròs, por su interés y buena acogida a innovadores criterios y técnicas de diseño.

BIBLIOGRAFÍA

- Europa Press 2011. *200 personas evacuadas por las inundaciones Cañete y Villa del Río*. <http://www.elcorreoweb.es/andalucia/122985/personas/evacuadas/inundaciones/canete/villa/rio> (Fecha Consulta: 19 mayo 2011).
- Flood and Water Management Act 2010*. 2010 Chapter 29. UK: The Stationery Office Ltd.
- Perales, S. y Andrés-Doménech, I. 2008. Los sistemas urbanos de drenaje sostenible: una alternativa a la gestión del agua de lluvia. *Revista Técnica de Medio Ambiente* 124 (Enero – Febrero 2008): 92–104. Madrid: C&M Publicaciones.
- Pitt, M. 2008. *The Pitt Review - Learning lessons from the 2007 floods*. UK: Cabinet Office.
- Planning Policy Statement 25: Development and Flood Risk*. 2010. UK: Crown.
- Sewers for Adoption 6th Edition – a design and construction guide for developers*. 2006. UK: WRC.
- Sewers for Scotland 2nd Edition – a design and construction guide for developers in Scotland*. 2007. UK: WRC.
- The Flood Risk Regulations 2009*. 2009 nº 3042 Environmental Protection. London: The Stationery Office Limited.