

# ***Evaluación del impacto del cambio climático en un caso de estudio de Barcelona a través de una modelización 2D-1D del drenaje dual***

*Russo B.<sup>1</sup>, Pouget L.<sup>2</sup>, Malgrat P.<sup>3</sup>, García J.<sup>4</sup>*

<sup>1</sup>*Escuela Universitaria Politécnica de La Almunia (EUPLA) (Univ. de Zaragoza), Clavegueram de Barcelona S.A. (CLABSA), [brusso@unizar.es](mailto:brusso@unizar.es)*

<sup>2</sup>*Centro Tecnológico del Agua (CETaqua), [lpouget@cetaqua.com](mailto:lpouget@cetaqua.com)*

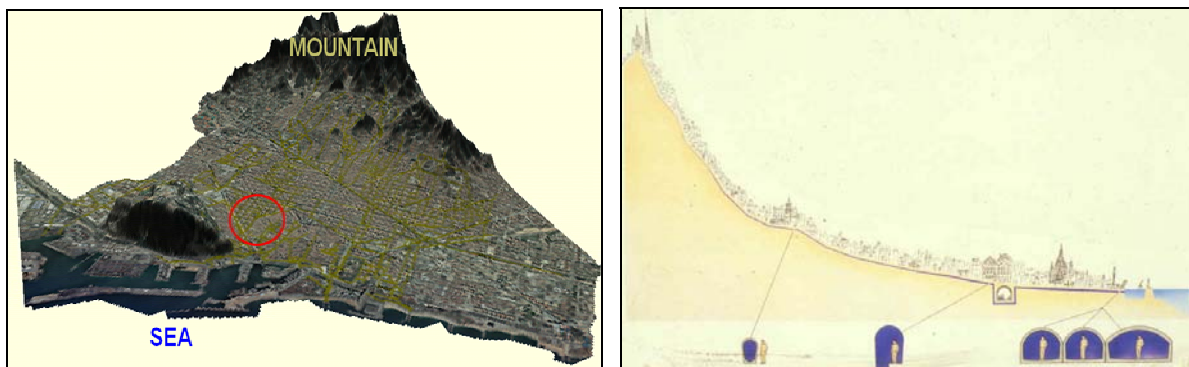
<sup>3</sup>*Clavegueram de Barcelona S.A. (CLABSA), [Pere@clabsa.es](mailto:Pere@clabsa.es)*

<sup>4</sup>*Aqua Ambiente Servicios Integrales, S.A., [jgarciaa@aquaplan.es](mailto:jgarciaa@aquaplan.es)*

## **1 Introducción**

Barcelona cuenta con una población de más de 1.600.000 habitantes dentro de una superficie de 101,4 Km<sup>2</sup>, con una densidad media de 15980 habitantes por Km<sup>2</sup> y máxima de 35.586 habitantes por Km<sup>2</sup> en el distrito del Eixample. La ciudad, localizada en la costa norte oriental de la península Ibérica, se extiende al pie de la Cadena montañosa de Collserola entre los Ríos Llobregat y Besós. Barcelona goza de un clima típicamente mediterráneo caracterizado por veranos no particularmente cálidos y por inviernos templados y pocos lluviosos, aunque en las estaciones de verano y otoño suelen producirse eventos de lluvia extremos caracterizados por duraciones muy cortas e intensidades pluviométricas muy elevadas. La media de precipitación anual acumulada es de 600 mm, pero la intensidad media máxima asociada a un intervalo de tiempo de 5 minutos y un periodo de retorno de 10 años es 205 mm/h. Es bastante común que alrededor del 50% de la precipitación acumulada de un año se reparta en 2-3 episodios de lluvia extremos. Por otro lado la morfología de la ciudad presenta zonas claramente diferenciadas en términos de pendientes del terreno, con gradientes muy elevados en la parte alta de la ciudad, y zonas deprimidas cerca de la línea de costa (Figura 1), donde se concentran los caudales de escorrentía que no se introducen en la red por déficit de capacidad de drenaje de la red de alcantarillado o falta de elementos de drenaje superficial.

Es evidente que debido a la peculiar combinación entre los aspectos morfológicos y pluviométricos presentes en la ciudad, el drenaje urbano resulta un elemento clave a la hora de aumentar la resiliencia de la ciudad. El carácter intermitente de las inundaciones producidas por exceso de escorrentía superficial (“flash floods”) pone de manifiesto la necesidad de estudiar las mismas según los requerimientos de la nueva Directiva Europea 2007/60/CE traspuesta con el Real Decreto 903/2010. Según estas normativas, es obligatorio, para las diferentes Administraciones Públicas y según el ámbito de sus competencias, desarrollar estudios para la evaluación y gestión del riesgo asociado a fenómenos de inundación teniendo además en cuenta los impactos del cambio climático sobre dicho riesgo. Según los requerimientos de la normativa vigente, dichos estudios deberán basarse sobre mapas de pligrisidad, vulnerabilidad y riesgo, que deberán elaborarse antes del 22 de diciembre del 2013.



*Figura 1 Morfología de Barcelona representada en 3D y a través de un perfil. El círculo en rojo representa la localización del barrio del Raval cuyo comportamiento hidráulico durante episodios de lluvias extremos ha sido analizado en este artículo.*

Dentro del marco de los proyectos internacionales de I+D+i Alliance (Compañía que federa la investigación de cinco líderes en el sector del agua), se ha desarrollado un proyecto de investigación que ha tenido como objeto de estudio el análisis del comportamiento hidráulico del barrio del Raval, dentro del distrito de Ciutat Vella en Barcelona, en caso de inundaciones producidas por eventos de lluvias extremos. El trabajo supone una respuesta a los requerimientos de la nueva normativa en ámbito de riesgo de inundaciones y proporciona una metodología que puede emplearse en cualquier núcleo urbano donde se disponga de un alto grado de información en referencia a la red de drenaje, a datos cartográficos, pluviométricos, etc.

## **2 Antecedentes**

La ciudad de Barcelona presenta 31 cuencas urbanas y peri-urbanas. Muchas de estas cuencas desaguan al mar y otras vierten al río Besós. En todos los casos, un colector intercepta las aguas residuales para llevarlas a tratamiento a dos estaciones de depuración. Las celebraciones de los Juegos Olímpicos del 1992 en Barcelona, dieron lugar a la realización de muchas infraestructuras, entre las cuales numerosas obras de alcantarillado, aunque la red de la ciudad se presentaba todavía poco flexible e insuficiente en numerosos puntos críticos y con una gestión muy convencional. Debido a todo eso, el Ayuntamiento de Barcelona, creó la empresa mixta Clavegueram de Barcelona S.A. (a continuación CLABSA) con el fin de desarrollar una nueva gestión avanzada del drenaje urbano de la ciudad. En los años siguientes, el drenaje de la ciudad sufrió cambios profundos con el fin de conseguir resultados eficientes contra el problema de las inundaciones y la contaminación producidas por las descargas del sistema unitario en los medios receptores, a través de un estudio exhaustivo del comportamiento de la red y algunas modernas herramientas como la regulación hidráulica y el control en tiempo real.

Hoy en día, Barcelona es una de las ciudades líderes en el mundo en temas de gestión avanzada de sistemas de drenaje urbano, aunque quedan todavía algunos problemas de inundación en algunos puntos críticos pendientes de resolución, a pesar de los importantes esfuerzos desarrollados hasta la fecha.

## **3 Descripción del caso de estudio y de la metodología empleada**

### **3.1 Justificación de modelos acoplados 2D/1D**

Como se ha citado anteriormente, la respuesta hidrológica de algunas cuencas de la ciudad de Barcelona, resulta extremadamente rápida por efecto de sus superficies impermeables y de sus altos gradientes. Todo eso, durante eventos de precipitación extremos, genera la formación de grandes volúmenes de escorrentía superficial que circulan por las superficies urbanas muchas veces de forma descontrolada pudiendo llegar a producir situaciones de riesgo para la circulación vehicular y peatonal, y la interrupción del normal desarrollo de las actividades en medio urbano. Las inundaciones en Barcelona se deben al exceso de escorrentía que no se introduce en la red por falta de elementos de captación y/o por efecto de las condiciones de sobrecarga en la misma (en este caso la situación se agrava por efecto de los caudales que la red expulsa a través de imbornales y pozos de alcantarillado).

Para poder simular estos tipos de problemas, es necesaria una modelización integrada tanto de la escorrentía superficial, como del flujo en la red considerando la adecuada caracterización hidráulica de los elementos de conexión (elementos de drenaje superficial entre las dos fases del drenaje: imbornales, pozos, etc.). Sólo a través de una modelización de este tipo de flujo (flujo dual), es posible estudiar de forma adecuada el comportamiento hidráulico de la red y de las calles durante episodios de lluvias, teniendo en cuenta como los caudales se introducen en la red o bien se expulsan de la misma en caso de condiciones de entrada en carga.

Este artículo presenta los resultados de una modelización acoplada 2D/1D (enfoque bidimensional para la representación del flujo en superficie acoplado con modelo unidimensional del flujo en la red) que tiene como objetivo final la estimación local de los parámetros del flujo (calado y velocidad) en toda la zona del barrio del Raval para la elaboración de mapas de peligrosidad y riesgo hidráulico en el marco de la nueva Directiva 2007/60/CE.

### 3.2 Descripción del caso de estudio

El objeto de estudio de este proyecto, ha sido el barrio del Raval, dentro del Distrito de Ciutat Vella en Barcelona. El barrio del Raval, con casi 50.000 habitantes distribuidos en poco menos de 1,1 Km<sup>2</sup>, representa una de las zonas más pobladas del mundo con una densidad demográfica de 44.000 habitantes por Km<sup>2</sup>).

El barrio del Raval de Barcelona representa un área topográficamente deprimida de la ciudad, en la cual, durante episodios de lluvia extrema, los caudales de escorrentía no interceptados en las cuencas aguas arriba y los que se producen en situ, circulan de forma descontrolada llegando a generar situaciones de peligrosidad hidráulica sobre todo por lo que se refiere a la circulación vehicular y peatonal (Figura 2). Además se trata de una zona con superficies extremadamente impermeables y que cuenta con la presencia de muchos elementos vulnerables como escuelas, hospitales y vías de emergencias y de alto tráfico vehicular. Debido a estas razones, y de acuerdo con el espíritu de la Directiva 2007/60/CE, se ha evaluado el riesgo asociado a inundaciones urbanas a través del estudio, tanto de la vulnerabilidad, cómo de peligrosidad hidráulica del dominio analizado.



Figura 2 Calle de Sant Pau en el barrio del Raval en condiciones normales y durante un evento de lluvia extremo (Gómez, 2010).

### 3.3 Nuevo modelo de drenaje dual para la red de Barcelona

Aunque este barrio resulte periódicamente afectado por inundaciones, así como se refleja en el mapa de zonas inundables del Plan Integral de Alcantarillado de Barcelona, las clásicas simulaciones unidimensionales del sólo sistema de alcantarillado no resultan eficaces para detectar este tipo de problemas (Figura 3) (CLABSA, 2006). Eso se debe a que las inundaciones producidas en el barrio del Raval se generan por efecto de caudales de escorrentía procedentes de cuencas aguas arriba. Con el fin de estudiar de manera más adecuada el comportamiento hidráulico de este barrio, se ha creado un modelo acoplado 2D/1D (2D para la modelización del flujo en superficie y 1D para la simulación 1D en la red de drenaje subterránea) en Infoworks Collecting System (a continuación IW) para un dominio de análisis que englobara también gran parte de las cuencas de cabecera.

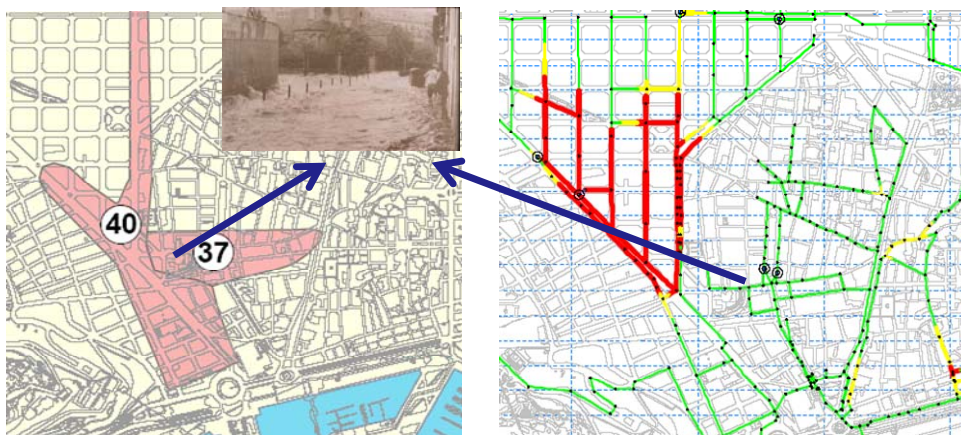


Figura 3 A la izquierda representación, en rosa, de las zonas inundables según información histórica. A la derecha representación del estado de la red para una lluvia con periodo de retorno de 10 años. En rojo se representan los conductos con piezométrica por encima de la cota del terreno. Las flechas indican la localización de la Calle Sant Pau.

Además, las áreas urbanas presentan una topografía bastante compleja por efecto de la presencia de elementos singulares como edificios, calles, aceras, cunetas, bancos, áreas verdes, mobiliario urbano etc. En este marco, resulta clara la importancia de un Modelo Digital de Terreno (a continuación MDT) con una alta resolución. Para este estudio, se ha empleado un MDT detallado (1 m x 1 m) obtenido por vuelo LIDAR (y proporcionado por el Instituto Cartográfico de Catalunya) con una densidad de 1,33 pts/m<sup>2</sup> y una precisión de 15 cm en términos de cota del terreno. El modelo final elaborado por CLABSA cubre una superficie total de 40 km<sup>2</sup> con 2.480 pozos, 215 Km de red principal, 6 tanques de tormenta con una capacidad total de 170.000 m<sup>3</sup> y un mallado no estructurado con 554.350 celdas triangulares (Figura 4). Para la creación del modelo han sido adoptadas las siguientes condiciones de contorno:

- Condiciones de régimen crítico para el contorno del polígono de simulación 2D
- Hietograma de diseño de la ciudad de Barcelona para un periodo de retorno de 10 años (intensidad punta 169 mm/h)
- Nivel del mar igual a 0.5 m
- 2 hidrogramas en colectores aguas arriba y una serie temporal de niveles en otro colector aguas abajo.

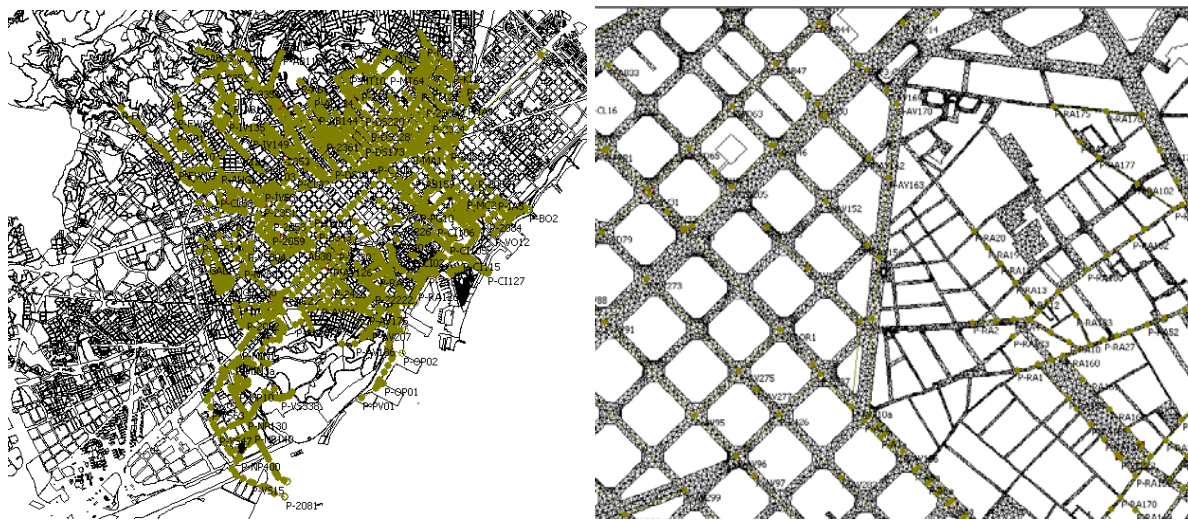


Figura 4 A la izquierda, red principal simulada. A la derecha, dominio 2D del barrio del Raval creado a través de malla no estructurada excluyendo los edificios.

### 3.4 Caracterización hidráulica de los elementos de conexión 2D/1D

Cuando un evento de lluvia ocurre en nuestras ciudades, la escorrentía producida en tejados y terrazas es rápidamente desaguada por medio de bajantes directamente conectados a la red de alcantarillado, mientras los caudales producidos en calles, aceras, plazas, etc. circulan por las superficies urbanas hasta encontrar estructuras de drenaje superficial. Es evidente que para una correcta estimación de los caudales circulantes en las calles y en la red, y por consecuencia, para una correcta simulación integrada de las dos fases del drenaje (sistema superficial o “major system” y sistema de alcantarillado subterráneo o “minor system”), es necesaria una caracterización hidráulica de estos elementos (Figura 5).

La consideración, al mismo tiempo, del flujo superficial y de sus interacciones con el flujo en la red, se conoce, en medio urbano, como drenaje dual (“dual drainage”) (Djordjevic *et al.*, 1999). Después de constatar que la modelización del drenaje dual no puede desarrollarse adecuadamente sin tener en cuenta la eficiencia hidráulica de los elementos de captación y una buena representación de la topografía urbana, otro aspecto a tener en cuenta es la necesidad de un software capaz de simular todos los procesos hidrológicos e hidráulicos que entran en juego en simulaciones de drenaje dual.

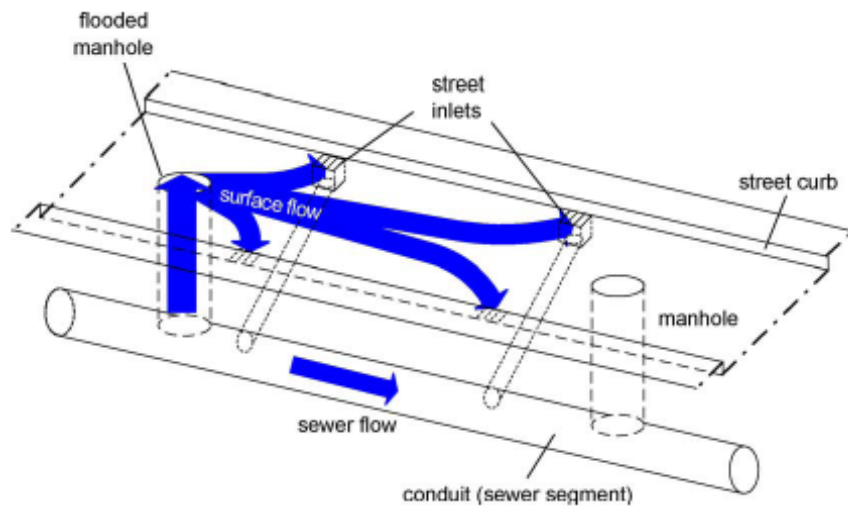


Figura 5 Interacciones entre flujo superficial y flujo en la red de alcantarillado (Schmitt et al. 2004).

Cómo se ha mencionado previamente, las simulaciones bidimensionales resultan más adecuadas que las unidimensionales para simular la escorrentía en superficies urbanas complejas por efecto de la presencia de elementos singulares (como edificios, calles, aceras, cunetas, etc.) y espacios abiertos donde es difícil asumir una dirección preferente del flujo. Por todo eso, parece razonable considerar simulaciones acopladas que representen el flujo superficial en dos dimensiones (2D) y el flujo en la red como unidimensional (1D), siempre y cuando la herramienta empleada para la simulación sea capaz de considerar las interacciones entre las dos fases de drenaje y ejecutar los cálculos en tiempos razonables. El software IW ha permitido implementar la metodología del drenaje dual para todo el barrio del Raval a través del empleo de los llamados “Nodos 2D”. Estos nodos se emplean en simulaciones 2D para representar los intercambios de caudales entre las dos fases del drenaje urbano. El cálculo de los caudales entre la red y el mallado superficial depende de qué tipo de nodo 2D se elija:

- Nodo tipo “2D”: El intercambio de caudales entre los pozos y el mallado es calculado a través de la ecuación de aliviadero asumiendo la cota de la cresta en correspondencia con la cota de terreno y una longitud del labio del aliviadero igual a la circunferencia del pozo. Se asume, en este caso, un coeficiente de desagüe igual al coeficiente de descarga del aliviadero.
- Nodo tipo “Gully 2D”: El intercambio de caudales entre el pozo y el mallado se calcula a partir de una relación “Carga del flujo / Caudal desaguado”.

En el modelo de Barcelona, los pozos presentan tipología “2D” o “Gully 2D”. Los pozos fuera del Raval se caracterizaron como pozos 2D con un coeficiente de descarga igual a 0.5, mientras los pozos del barrio del Raval se caracterizaron como nodos “Gully 2D”. En este caso diferentes curvas Carga/Caudal se generaron para tener en cuenta el funcionamiento hidráulico real de los elementos de drenaje superficial presentes. Las curvas se elaboraron sobre la base de ecuaciones experimentales halladas por el Grupo de Investigación Flumen de la Universitat Politècnica de Catalunya en el marco de proyectos de investigación promovidos por el Grupo Agbar y en particular por la empresa CLABSA (Gómez y Russo, 2009; Gómez y Russo, 2011).

### 3.5 Evaluación del riesgo asociado a inundaciones urbanas

De acuerdo con la bibliografía (Messner et al. 2006), el riesgo asociado a inundaciones (“flood risk”) se puede evaluar siempre a partir de mapas de riesgo que pueden considerarse como el producto entre mapas de peligrosidad hidráulica y mapas de vulnerabilidad del territorio, aunque estos tipos de estudios pueden desarrollarse según enfoques diferentes (desde básicos y cualitativos, hasta detallados y cuantitativos). Para el caso del barrio del Raval, se ha empleado una metodología detallada para la estimación cuantitativa de la peligrosidad hidráulica, mientras la vulnerabilidad sólo ha considerado aspectos sociales sin tener en cuenta posibles daños materiales asociados a las inundaciones.

La peligrosidad hidráulica (“flood hazard”) se puede definir como aquellas condiciones del flujo que suponen un peligro para las personas. En general dos casos específicos se consideran como potenciales causas de pérdidas de vidas humanas durante eventos de lluvia extremos:

- vuelco y/o deslizamiento de peatones y vehículos;
- peligro de quedarse atrapado en vehículos y edificios

Si nos centramos en el primer caso (común en inundaciones urbanas), la peligrosidad hidráulica se relaciona al calado ( $y$ ) y a la velocidad del flujo ( $v$ ). Algunos estudios experimentales proporcionan valores límites del producto calado (en m) por velocidad (en m/s), en el rango entre 0 y 1, que marcan el umbral de estabilidad de un adulto frente al flujo (Abt et al., 1989; Reiter, 2000), aunque cabe decir que muchos de estos estudios se refieren a inundaciones producidas por desbordamiento de ríos por lo cual se deberían emplear estrictamente en llanuras de inundación y no en ámbito urbano donde el flujo producido por exceso de escorrentía superficial presenta parámetros del flujo bastante distintos que el flujo en ríos (láminas de agua con poco calado y altas velocidades). Con el fin de determinar criterios de peligrosidad para zonas urbanas, la Fundación Agbar promovió una línea de investigación específica desarrollada por la Universitat Politècnica de Catalunya para evaluar la estabilidad de los peatones en caso de calles inundadas (Gómez et al., 2010).

De acuerdo con los resultados experimentales proporcionados por esta campaña, y a criterios previos empleados por CLABSA (CLABSA, 2006), en este estudio, se han empleado criterios de peligrosidad específicos para inundaciones en medio urbano para la elaboración de los mapas de peligrosidad hidráulica (Figura 6).

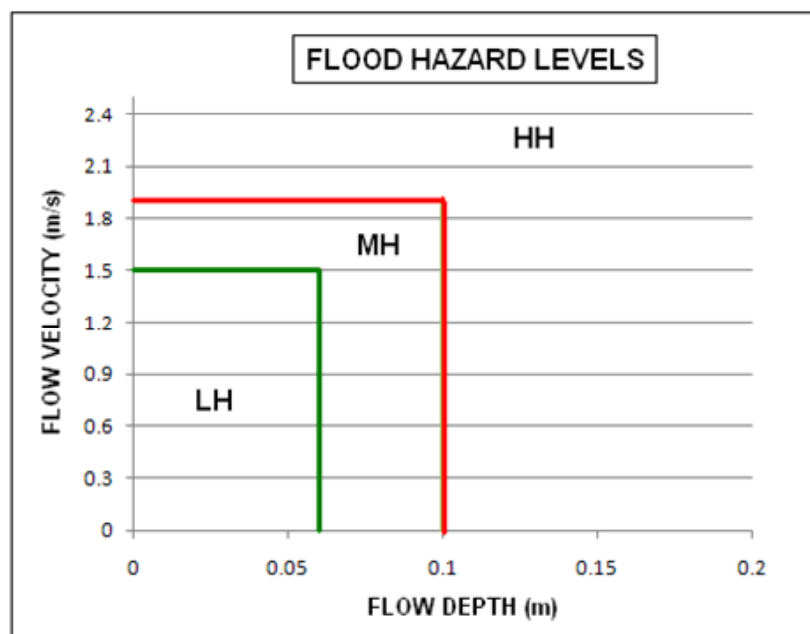


Figura 6 Criterios de peligrosidad hidráulica para medio urbano empleados para elaborar los mapas de peligrosidad en el Raval (HH: peligrosidad alta; MH: peligrosidad media; LH: peligrosidad baja).

Mientras que sobre la definición de peligrosidad hidráulica existe un cierto consenso, la definición de vulnerabilidad parece ser más compleja y ambigua. En este proyecto se ha tomado como referencia el Proyecto Europeo FLOODsite, según el cual, el análisis de la vulnerabilidad requiere la catalogación de todos los elementos potencialmente afectados por el riesgo y todos los posibles daños. En este proyecto, se ha considerado sólo la vulnerabilidad social del dominio analizado, no tratando las estimaciones económicas de los daños generados por las inundaciones.

En este marco se ha elaborado un mapa de infraestructuras y edificios sensibles con, además, la caracterización de las componentes sociales (densidad de población, número de habitantes con edad crítica, porcentaje de población extranjera, etc.) de 13 microzonas que forman el barrio del Raval. Finalmente toda esa información se ha reflejado en la definición de 3 niveles de vulnerabilidad definidos como bajo, medio y alto. De acuerdo con la Directiva 2007/60/CE, el riesgo de inundaciones debe ser evaluado a través de la creación de mapas asociadas a diferentes escenarios. El mapa de riesgo para el escenario actual ha sido creado multiplicando los valores del índice de vulnerabilidad (1, 2 o 3, en función del nivel de vulnerabilidad bajo, medio o alto) por el índice de peligrosidad (1, 2 o 3, en función del nivel de peligrosidad, bajo, medio o alto). De esa manera ha sido obtenido, y clasificado, el grado de exposición al riesgo de inundación (Tabla 1).

Tabla 1 Grado de exposición del riesgo debido a inundación para el barrio del Raval en la ciudad de Barcelona.

Nivel de riesgo	Valor del riesgo	Color característico
Alto	6 – 9	Rojo
Medio	3 – 5	Amarillo
Bajo	1 – 2	Verde

## 4 Resultados de la simulación

### 4.1 Elaboración de los mapas de riesgo y descripción de las mejoras del nuevo modelo

Después de evaluar la peligrosidad hidráulica y la vulnerabilidad, de acuerdo con la metodología explicada, ha sido posible elaborar mapas específicos para representar el riesgo de inundaciones en el Raval para un periodo de retorno de 10 años (Figura 7).

Los resultados del nuevo modelo acoplado 2D/1D evidencian que, debido a un déficit de capacidad de drenaje, caudales significativos procedentes de subcuencas aguas arriba (Diagonal y Paral·lel) alcanzan el barrio del Raval generando problemas de inundaciones. Los mismos resultados demuestran que, modelos 1D de alcantarillado, no tratando tanto la propagación superficial del flujo, cómo las interacciones de caudales entre las fases de drenaje, no pueden detectar problemas cuyas causas no sean endógenas (Figura 8).

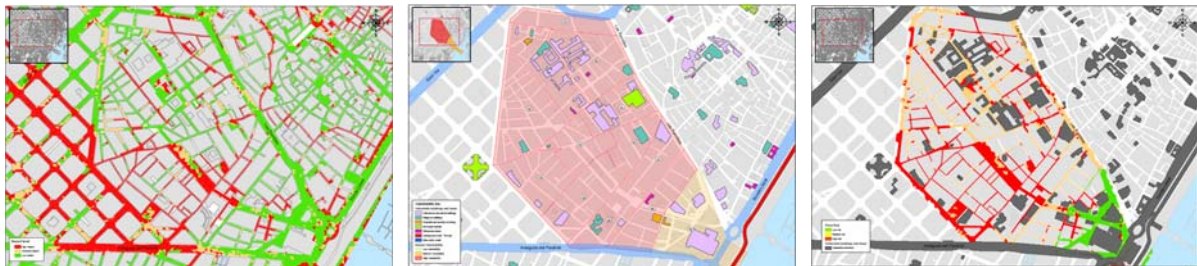


Figura 7 Mapas de peligrosidad, vulnerabilidad y riesgo del barrio del Raval en Barcelona para una lluvia de 10 años de período de retorno.



Figura 8 A la izquierda, el área en rosa representa zonas históricamente afectadas por inundaciones. En el medio, una simulación 1D muestra el comportamiento hidráulico de la red para una lluvia con periodo de retorno de 10 años. A la derecha, un mapa de peligrosidad evidencia condiciones de peligrosidad alta. Las flechas indican la posición de la Calle Sant Pau representada en foto durante un evento de lluvia.

## 4.2 Impacto del cambio global sobre el riesgo de inundaciones en el Raval

De acuerdo con la Directiva 2007/60/CE, el estudio ha tenido en cuenta los efectos del cambio climático para distintos escenarios futuros (Pouget *et al.*, 2011).

Para el caso de estudio del barrio del Raval, se ha considerado el escenario de emisión más conservador (A1B) y el horizonte temporal del 2040. Para este escenario, las intensidades de lluvia del hietograma de diseño de la ciudad de Barcelona han sido incrementadas en un 12% (Figura 9) y las nuevas simulaciones han evidenciado que el 51% de las superficies del barrio del Raval normalmente empleadas para peatones y vehículos para desarrollar sus actividades cotidianas (15,27 ha) se clasificarían con nivel de riesgo alto en caso de lluvias con periodo de retorno de 10 años, respecto al 40% (12,06 ha) correspondiente al escenario actual (Figura 10).

Cómo último trabajo asociado al proyecto, se han analizado algunas medidas de adaptación al cambio climático considerando la implementación de algunas infraestructuras planificadas en el Plan Integral de Alcantarillado de Barcelona (PICBA, 06). Los resultados han evidenciado que estas medidas pueden no resultar suficientes para eliminar totalmente el efecto del cambio climático, por lo cual las mismas tendrían que ser reestudiadas para garantizar una plena eficiencia frente a escenarios específicos.

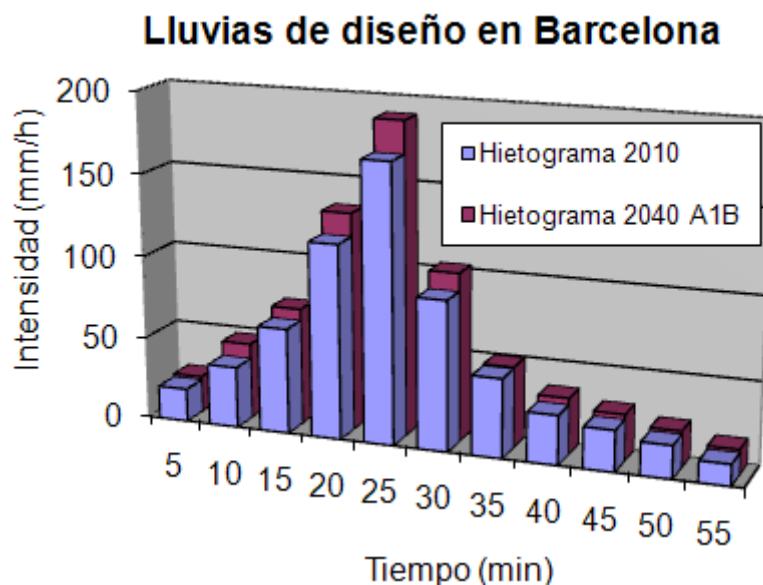


Figura 9 Comparación entre el actual hietograma de diseño de la ciudad de Barcelona (en azul) y el nuevo hietograma para el escenario A1B y el horizonte del 2040.



Figura 10 Evolución del riesgo alto en el Raval (desde las zonas en rojo para el escenario actual hasta las zonas en rosa para el escenario futuro A1B y horizonte 2040).



## 5 Conclusiones

De acuerdo con la nueva Directiva Europea 2007/60/CE y el Real Decreto 903/2010, de “Evaluación y gestión de riesgos de inundación”, se ha desarrollado un estudio sobre la evaluación del riesgo asociado a inundaciones urbanas en el barrio del Raval en Barcelona a través de la elaboración de mapas de peligrosidad hidráulica, de vulnerabilidad y del grado de exposición al riesgo teniendo en cuenta los impactos del cambio climático.

Se ha demostrado que modelos acoplados 2D/1D que tienen en cuenta la propagación superficial del flujo en dos dimensiones y la capacidad real del sistema de drenaje superficial, mejoran sensiblemente la exactitud de las simulaciones para representar la peligrosidad hidráulica en zonas urbanas.

La caracterización de los elementos de conexión entre las dos fases de drenaje (superficial y subterránea) se ha desarrollado a partir de ecuaciones experimentales halladas por el Grupo de Investigación Flumen de la Universitat Politècnica de Catalunya en el marco de proyectos de investigación promovidos por el Grupo Agbar y, en particular, por la empresa CLABSA.

La comparación entre los mapas de riesgo para escenarios presente y futuro (A1B y horizonte del 2040), evidencia un aumento considerable (27% desde 12,06 ha hasta 15,27 ha) de las zonas a clasificar en riesgo alto. Hay que considerar que la simulación para escenario futuro se ha desarrollado para el escenario de emisión más conservador y que otras opciones proporcionaban aumentos de las intensidades de lluvia más moderados o incluso descensos de las mismas intensidades.

## 6 Agradecimientos

Los autores de este artículo agradecen al grupo R+i Alliance, que engloba las empresas Suez Environment, AGBAR, Lyonnaise des Eaux, United Water y Northumbrian Water, para el soporte técnico y financiero proporcionado para este estudio.

## 7 Referencias bibliográficas

- Abt S.R., Wittler R. J., Taylor A. y Love D. J. (1989). *Human Stability in a High Flood Hazard Zone*. AWRA Water Resources Bulletin, 25(4), 881-890.
- Clavegueram de Barcelona S. A. (CLABSA), (2006). *Plan Integral de Clavegueram de Barcelona 2006 (PICBA06)*. Master Drainage Plan of Barcelona. Planning and project department.
- Djordjevic S., Prodanovic D., Maksimovic C. (1999). *An approach to simulation of dual drainage*. Water Science and Technology, 39(9), 95-103.
- European Commission (EC) (2007). *Directive 2007/60/CE of the European Parliament and of the Council on the assessment and management of flood risks*. 23 October 2007.
- Gómez M. (2010). *Curso de Hidrología Urbana*. VIII Edición. Universitat Politècnica de Catalunya.
- Gómez M., Macchione F. y B. Russo (2010). *Hazard criteria related to urban flooding produced by heavy storm events*. Proceeding of 1st European IAHR Congress, Edimburgo, Mayo, 4-6, 2010.
- Gómez M. y Russo B. (2011). *Methodology to estimate hydraulic efficiency of drain inlets*. Proceedings of the ICE - Water Management. Institution of Civil Engineers, 164(1), 1-10.
- Gómez M. y Russo B. (2009). *Hydraulic efficiency of continuous transverse grates for paved areas*. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. American Society of Civil Engineering (ASCE). 135(2), 225-230.
- Messner F., Penning-Rowsell E., Green C., Meyer V., Tunstall S. and Van der Veen A. (2006). *Guidelines for socio-economic Flood Damage Evaluation*. FLOODsite-Report T09-06-01.
- Pouget L., Russo B., Escaler I., Redaño A., y Ribalaygua J. (2011). *Climate change impacts on extreme rainfalls and design storms for flood risk assessment in urban areas*. Application to Barcelona city. Proceedings 12th International Conference on Urban Drainage, Porto Alegre, Septiembre, 10-15, 2011.

Reiter P. (2000). *International methods of Risk Analysis, Damage evaluation and social impact studies concerning Dam-Break accidents*. EU-Project RESCDAM. Helsinki PR Water Consulting.

Schmitt, T. G., Thomas, M., y Etrich N. (2004). *Analysis and modeling of flooding in urban drainage systems*. Journal of Hydrology, 299(3-4), 300-311.