

# Evaluación de la resiliencia de los servicios urbanos frente a episodios de inundación en Barcelona. El Proyecto RESCCUE

## Assessment of the resilience of Barcelona urban services in case of flooding. The RESCCUE project

Russo, B.<sup>a1,b</sup>, Velasco, M.<sup>a2</sup>, Monjo, R.<sup>c</sup>, Martínez-Gomariz, E.<sup>d</sup>, Sánchez, D.<sup>e1</sup>, Domínguez, J. L.<sup>e2</sup>, Gabàs, A.<sup>f1</sup>, Gonzalez, A.<sup>f2</sup>

<sup>a</sup>AQUATEC (SUEZ Advanced Solutions). Paseo de la Zona Franca, 46-48, 08038, Barcelona, España.

<sup>b</sup>Grupo de Ingeniería Hidráulica y Ambiental (GIHA), Escuela Politécnica de La Almunia (EUPLA), Universidad de Zaragoza. Calle Mayor 5, 50100, La Almunia de Doña Godina, Zaragoza, España.

<sup>c</sup>Fundación de investigación del Clima (FIC). Gran Vía, 22, Dpdo. 7°, Dcha (Escalera 2), 28013, Madrid, España.

<sup>d</sup>Centro Tecnológico del agua (CETAqua). Carretera d'Esplugues, 75, 08940, Cornellà del Llobregat, Barcelona, España.

<sup>e</sup>Institut de Recerca en Energia de Catalunya (IREC). Jardins de les Dones de Negre, 1, 2ª pl., 08930 Sant Adrià de Besòs, Barcelona, España.

<sup>f</sup>Departament de Resiliència Urbana. Gerència Adjunta de Mobilitat i Infraestructures, Ecologia Urbana, Ajuntament de Barcelona, España.

E-mail: <sup>a1</sup>brusso@aquatec.es, <sup>a2</sup>marc.velasco@suez.com, <sup>c</sup>fmonjo@fic.org, <sup>d</sup>eduardo.martinez@cetaqua.com, <sup>e1</sup>dsanchezm@irec.cat, <sup>e2</sup>jldominguez@irec.cat, <sup>f1</sup>agabasm@bcn.cat, <sup>f2</sup>agonzalezgom@bcn.cat

Recibido: 04/08/2019

Aceptado: 24/02/2020

Publicado: 30/04/2020

**Citar como:** Russo, B., Velasco, M., Monjo, R., Martínez-Gomariz, E., Domínguez, J. L., Sánchez, D., Gabàs, A., Gonzalez, A. (2020). Assessment of the resilience of Barcelona urban services in case of flooding. The RESCCUE project. *Ingeniería del agua*, 24(2), 101-118. <https://doi.org/10.4995/la.2020.12179>

## RESUMEN

En el marco del Proyecto europeo RESCCUE, las proyecciones climáticas para la ciudad de Barcelona muestran aumentos significativos de las intensidades máximas de precipitación para el horizonte del 2071-2100. En este trabajo se presenta la evaluación de la resiliencia de los servicios urbanos de la ciudad frente a episodios de inundación para condiciones de lluvia actuales y futuras. El uso de modelos sectoriales e integrados ha permitido valorar la respuesta del sistema de drenaje de la ciudad tanto a nivel de sistema de alcantarillado subterráneo como a nivel superficial analizando el comportamiento hidráulico del conjunto de las superficies urbanas (calles, plazas, parques, etc.). Por otro lado, los parámetros asociados a las inundaciones superficiales (extensión de las zonas inundables, calado y velocidad) han sido empleados para estimar potenciales afectaciones futuras en otros servicios urbanos estratégicos como el tráfico superficial, el sistema eléctrico y el sistema de recogida de residuos.

**Palabras clave** | Resiliencia urbana; efectos en cascada; cambio climático; inundaciones; modelos 1D/2D.

## ABSTRACT

Within the framework of the European RESCCUE Project, climate projections for the city of Barcelona show significant increases in maximum rainfall intensities for the 2071-2100 horizon. This paper presents the evaluation of the resilience of urban services in the city against flood episodes for current and future rainfall conditions. The use of sectorial and integrated models allows to assess the response of the city's drainage system both at the underground sewer system level and at the surface level by analyzing the hydraulic behavior of all urban surfaces (streets, squares, parks, etc.). On the other hand, the parameters associated with surface flooding (extension of flood areas, flow depth and velocity) can be used to estimate potential impacts on other strategic urban services such as surface traffic, the electrical system and the waste collection service.

**Key words** | Urban resilience; cascading effects, climate change; flooding, 1D/2D models.

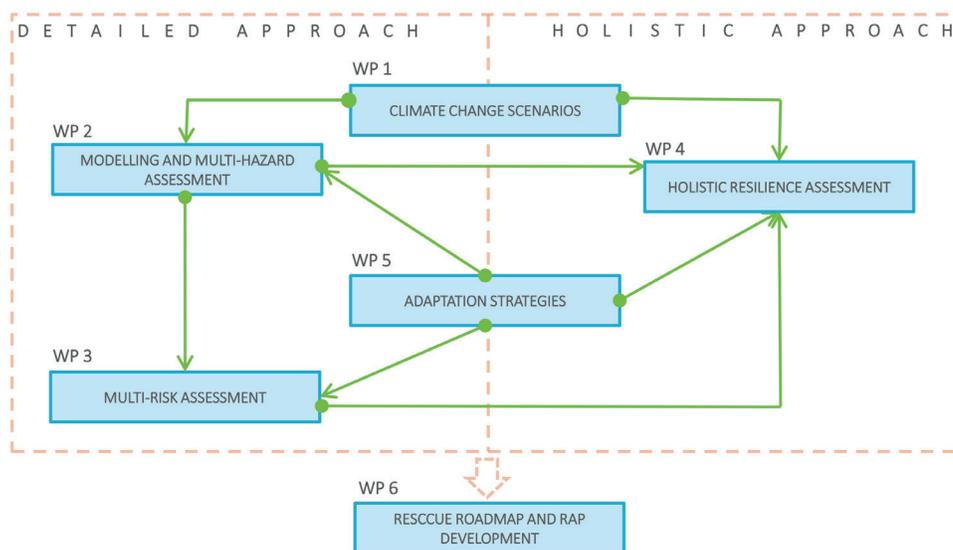
## INTRODUCCIÓN

El proyecto RESCCUE (*RESilience to cope with Climate Change in Urban arEas – a multisectorial approach focusing on water*) (Velasco et al., 2018) es un proyecto de investigación financiado por la Comisión Europea en el marco del programa H2020 y tiene como objetivo principal proporcionar metodologías y herramientas para la evaluación, planificación y gestión de la resiliencia de las ciudades del siglo XXI en un contexto de cambio climático.

Si se considera la ciudad como un sistema de sistemas, la resiliencia urbana está estrictamente ligada al buen funcionamiento de los servicios urbanos y al conocimiento de los efectos en cascada que pueden producirse en caso de fallo de una o más infraestructuras críticas de un determinado sector estratégico.

A través del Proyecto RESCCUE se pretende, por un lado, profundizar en el diagnóstico de la resiliencia de las ciudades frente a fenómenos climáticos extremos y, por el otro, incrementar su misma resiliencia a través de nuevas metodologías y herramientas que llevarán a la propuesta y priorización de varias medidas y estrategias de adaptación.

Para lograr estos objetivos, en el marco del proyecto, se han desarrollado y calibrado modelos sectoriales e integrados que permiten analizar, de manera muy detallada, la resiliencia de los diferentes servicios urbanos frente a episodios climáticos extremos. Además, la información generada por estos modelos, junto con la información histórica disponible para cada servicio urbano, es empleada para alimentar una herramienta más transversal, HAZUR®, que abarca el conjunto de los servicios urbanos de la ciudad en un análisis más general y con una visión más holística del problema. Este doble enfoque del proyecto, conjuntamente con la estructura en paquetes de trabajo (*Work Packages*) del mismo, se presenta en la Figura 1.



**Figura 1** | Análisis de la resiliencia a través del doble enfoque del proyecto RESCCUE.

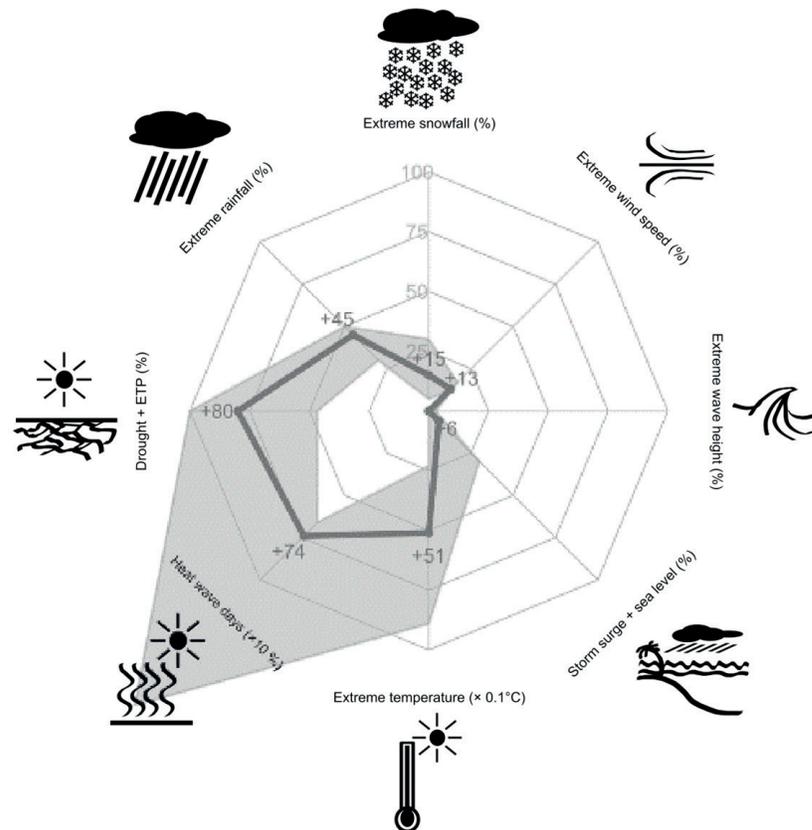
Todas estas herramientas están siendo empleadas para la evaluación de la resiliencia urbana de tres ciudades europeas (Barcelona, Bristol y Lisboa) con características y capacidades de respuesta diferentes de acuerdo con escenarios de cambio climático para el horizonte temporal del año 2100. Esta información confluirá en la elaboración de los Planes de Acción de Resiliencia (*Resilience Action Plan*, RAP) de las tres ciudades. El proyecto RESCCUE está liderado por AQUATEC (SUEZ Advanced Solutions) y cuenta con 18 socios entre los cuales destaca la presencia de los tres ayuntamientos de los casos de estudio, de universidades, centros tecnológicos y empresas públicas y privadas de los sectores del ciclo urbano del agua y de la energía. El proyecto cuenta también con la participación de UN-Habitat, cuyo papel e implicación en el mismo tiene el fin de garantizar la replicabilidad de la implementación de las metodologías desarrolladas en otros contextos más allá de los que se han estudiado en el marco del proyecto.

En este artículo, se presenta la evaluación de la resiliencia de los servicios urbanos de la ciudad de Barcelona frente a episodios de inundación para condiciones de lluvia actuales y futuras. El uso de modelos sectoriales e integrados ha permitido valorar la respuesta del sistema de drenaje de la ciudad tanto a nivel de sistema de alcantarillado subterráneo como a nivel superficial analizando el comportamiento hidráulico del conjunto de las superficies urbanas (calles, plazas, parques, etc.). Los parámetros asociados a las inundaciones superficiales (extensión de las zonas inundables, calado y velocidad) han sido empleados para estimar potenciales afectaciones futuras en otros servicios urbanos estratégicos como el tráfico superficial, el sistema eléctrico y el sistema de recogida de residuos.

## MATERIAL Y MÉTODOS

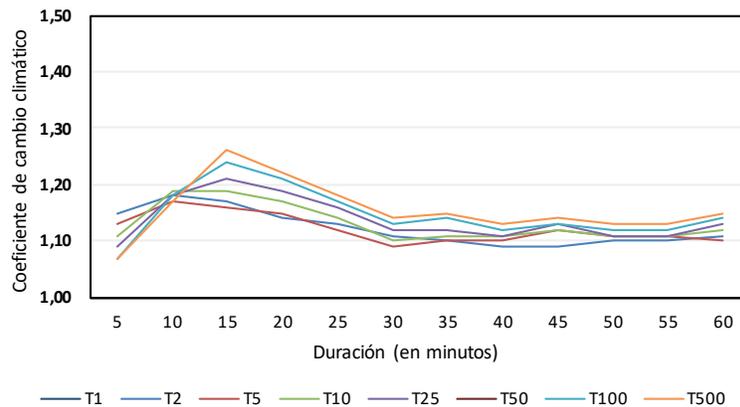
### Efectos del cambio climático en Barcelona

Este artículo se centra en la presentación de algunos resultados obtenidos para el caso de estudio de Barcelona, para el cual la Fundación de Investigación del Clima (FIC) ha proporcionado proyecciones y predicciones climáticas para diferentes variables y cuyos resultados se sintetizan en la Figura 2. Dichos resultados confirman las mismas tendencias de otros estudios muy recientes desarrollados para la ciudad de Barcelona y están en línea con los datos del *Pla Clima* recientemente publicado por el Ayuntamiento de Barcelona (Ecología Urbana, 2018).



**Figura 2** | Resumen de los resultados de las proyecciones y predicciones climáticas en Barcelona para el proyecto RESCCUE. Cambio máximo esperado en los eventos extremos del clima a lo largo del siglo, teniendo en cuenta los períodos de retorno entre 1 y 100 años. El centro representa “sin cambios” y el borde corresponde a un aumento del 100% para cada variable, excepto para los días de olas de calor (donde el borde es +1000%) y la temperatura extrema (el borde es +10°C). Las líneas gruesas representan el escenario mediano y el área sombreada es la región de incertidumbre (95%). (Fuente: RESCCUE Deliverable 1.3; Monjo et al., 2018).

De acuerdo con los datos proporcionados por la FIC, fenómenos como las precipitaciones extremas, las olas de calor y las sequías podrían experimentar incrementos significativos debido a una aceleración del ciclo hidrológico (Monjo et al., 2016, 2018). Para el caso de las intensidades de lluvia medias máximas y el horizonte del 2071-2100, en la ciudad de Barcelona, el valor del coeficiente de cambio climático (definido como la ratio entre las intensidades máximas futuras y las actuales, para determinados periodos de retorno e intervalos de tiempo) se encuentra en una horquilla entre 1.07 y 1.26 dependiendo de la frecuencia y la duración de cada intensidad media máxima (Figura 3 y Tabla 1). Estos resultados han sido obtenidos por medio de técnicas de *downscaling* espaciales y temporales estadísticos sobre 20 series pluviométricas futuras proporcionadas por 10 modelos de circulación atmosféricas generales, forzados por los escenarios RCPs 4.5 y 8.5, y previamente validados para un periodo de control histórico (1976-2005). Los coeficientes de cambio climático de la Figura 2 y de la Tabla 1 son representativos del percentil 50 de los resultados obtenidos.



**Figura 3** | Evolución de los coeficientes de cambio climático en función de la duración y del periodo de retorno para el periodo 2071-2100. (Fuente: RESCCUE Deliverable 1.3; Monjo et al., 2018).

**Tabla 1** | Valores numéricos de los coeficientes de cambio climático en función de la duración y del periodo de retorno para el periodo 2071-2100. (Fuente: RESCCUE Deliverable 1.3; Monjo et al., 2018).

Periodo de retorno	Duración											
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
<b>T1</b>	1.16	1.18	1.17	1.14	1.13	1.11	1.10	1.09	1.09	1.10	1.10	1.11
<b>T2</b>	1.15	1.18	1.17	1.14	1.13	1.11	1.10	1.09	1.09	1.10	1.10	1.11
<b>T5</b>	1.13	1.17	1.16	1.15	1.12	1.09	1.10	1.10	1.12	1.11	1.11	1.10
<b>T10</b>	1.11	1.19	1.19	1.17	1.14	1.10	1.11	1.11	1.12	1.11	1.11	1.12
<b>T25</b>	1.09	1.18	1.21	1.19	1.16	1.12	1.12	1.11	1.13	1.11	1.11	1.13
<b>T50</b>	1.08	1.18	1.22	1.2	1.16	1.12	1.13	1.11	1.13	1.11	1.11	1.13
<b>T100</b>	1.07	1.18	1.24	1.21	1.17	1.13	1.14	1.12	1.13	1.12	1.12	1.14
<b>T500</b>	1.07	1.17	1.26	1.22	1.18	1.14	1.15	1.13	1.14	1.13	1.13	1.15

Una vez calculados estos coeficientes de cambio climático, los mismos se han aplicado sobre los hietogramas sintéticos de periodos de retorno T1, T10, T50, T100 y T500 para la ciudad de Barcelona proporcionados por la empresa Barcelona Cicle de l'Aigua (BCASA) también socio del consorcio del proyecto RESCCUE. En la Figura 4 se muestra el hietograma de diseño (periodo de retorno T=10 años) de, aproximadamente, 2 horas y 30 minutos de duración y que resulta de la aplicación de los coeficientes de cambio climáticos de la Tabla 1 para las diferentes duraciones de la lluvia.

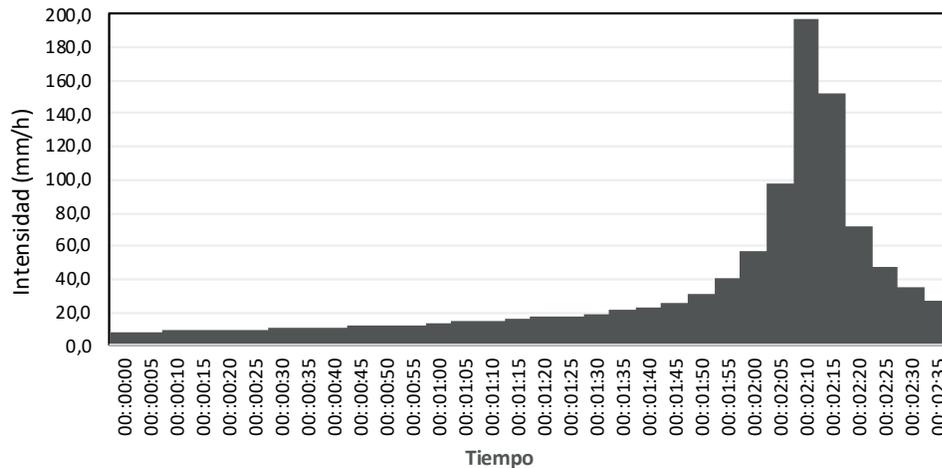


Figura 4 | Hietograma sintético para la ciudad de Barcelona, un periodo de retorno de 10 años y el horizonte temporal 2071-2100.

La subida del nivel del mar, estimada por la FIC para los escenarios RCPs 4.5 y 8.5 en Barcelona, se considera despreciable por ser poco significativa con respecto a las sobrelevaciones de las desembocaduras al mar de la red de drenaje realizadas durante la remodelación de la misma para los Juegos Olímpicos del 1992.

## Modelización de los efectos de las inundaciones sobre los servicios urbanos

Muchas de las variables climáticas tratadas por la FIC en el marco del proyecto RESCCUE han sido empleadas para alimentar diferentes modelos sectoriales con alto nivel de detalle y analizar el comportamiento de diferentes servicios urbanos frente a episodios climáticos extremos. Los modelos empleados en RESCCUE han sido, además, calibrados y validados a partir de datos de campos asociados a diferentes eventos históricos.

Con respecto a la evaluación de peligros y riesgos múltiples (*multi-hazard and multi-risk assessment*), la metodología propuesta se ha basado en el desarrollo de modelos y herramientas acoplados (*loosely coupled models*) o integrados (*integrated models*) donde las salidas (*outputs*) de determinados modelos se han utilizado como entradas (*inputs*) en otros según el esquema de Figura 5.

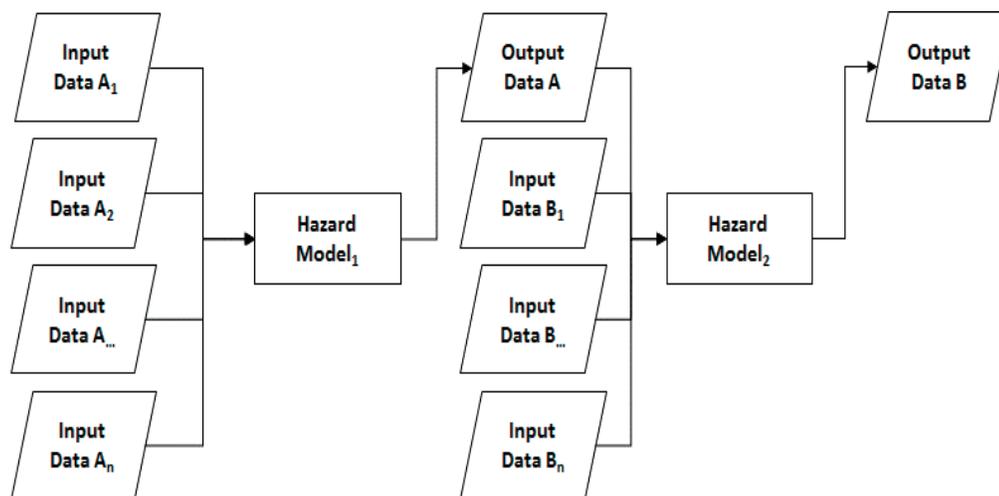
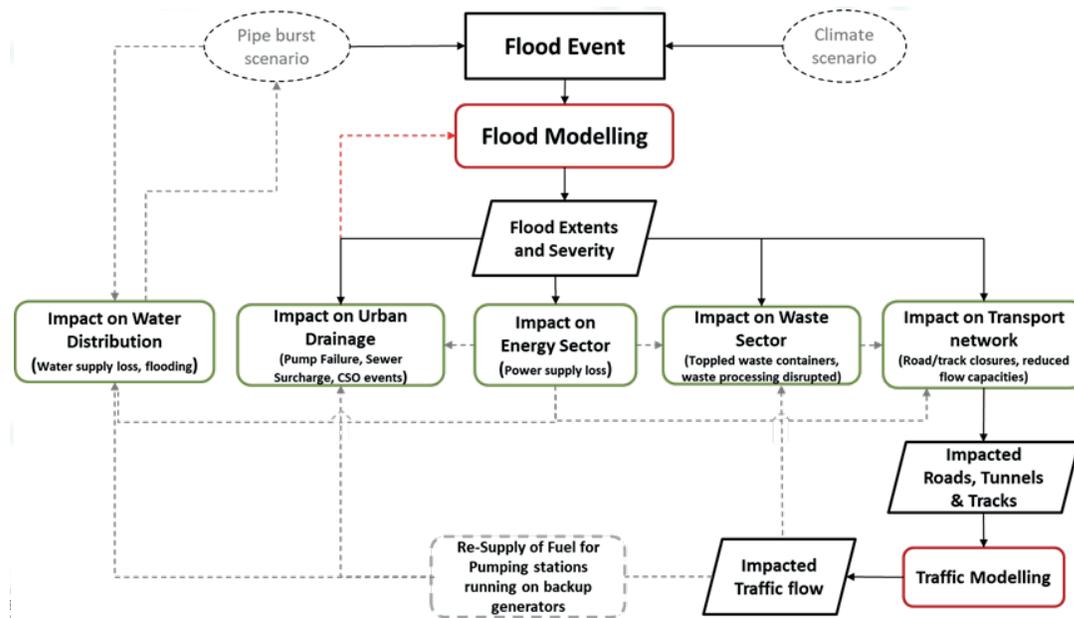


Figura 5 | Estructura general del uso de modelos integrados para la evaluación detallada de múltiples amenazas (Fuente: RESCCUE Deliverable 3.1; Evans, 2017).

Los modelos desarrollados se han centrado en el análisis de los impactos directos e indirectos producidos por inundaciones, en los efectos en cascada sobre otros servicios urbanos (sistema eléctrico, sistema de recogida de residuos y sistema de tráfico en superficie), en los impactos derivados por contaminación de los medios receptores y, finalmente, por episodios de sequía. El alcance de este artículo se limita a la presentación de resultados relativos a los impactos directos e indirectos del fenómeno de las inundaciones pluviales en Barcelona, así como de los efectos en cascada sobre otros servicios estratégicos de la ciudad que pueden producirse en caso de eventos extremos en un contexto, además, exacerbado por los potenciales efectos de cambio climático. En la Tabla 2, se resumen los servicios afectados por inundaciones y cuyo comportamiento ha sido simulado a partir de modelos sectoriales e integrados en el proyecto RESCCUE para la ciudad de Barcelona. La Figura 6 resume las interrelaciones analizadas en el proyecto para evaluar la resiliencia de estos servicios frente al problema de las inundaciones.

**Tabla 2** | Modelos sectoriales y modelos integrados de inundación desarrollado y calibrados en el proyecto RESCCUE para la ciudad de Barcelona.

Modelos sectoriales / integrados	Sistemas involucrados	Objetivos principales
Modelo drenaje urbano 1D/2D	Drenaje urbano	Evaluación socio-económica de la peligrosidad y del riesgo de personas y bienes frente a las inundaciones
Modelo integrado inundación – tráfico de superficie	Drenaje urbano y transporte en superficie	Evaluación de los impactos de las inundaciones sobre el tráfico
Modelo integrado inundación - sistema eléctrico	Drenaje urbano, ríos, costa y sistema eléctrico	Evaluación de los impactos de las inundaciones sobre el sistema eléctrico
Modelo integrado inundación - sistema de recogida de residuos	Drenaje urbano y residuos	Evaluación de los impactos de las inundaciones sobre el sistema de recogida de residuos



**Figura 6** | Esquema de los efectos en cascada potencialmente producidos por un evento de inundación y analizados por el proyecto RESCCUE (Fuente: RESCCUE Deliverable 3.4; Evans, 2019).

## Modelo de drenaje dual 1D/2D de la ciudad de Barcelona

Después del Pla Integral de Clavegueram de Barcelona del 2006 (PICBA06), en el que se desarrolló el último modelo de simulación unidimensional de la red de alcantarillado de la ciudad, ha habido diferentes experiencias de simulaciones del drenaje dual de la ciudad a través de modelos detallados y calibrados 1D/2D (Russo et al., 2011; 2015).

En el marco del proyecto RESCCUE, a través de la colaboración con la empresa BCASA, anteriormente mencionada, que actualmente está elaborando el nuevo Plan Director de la ciudad, se ha podido emplear un nuevo modelo dual que, respecto a los anteriores, presenta dos ventajas muy significativas al ser un modelo de red completa (o sea incorpora también la red de alcantarillado secundaria) llegando a una cifra de 1650 km de red y que cubre todo el ámbito hidrológico de Barcelona (o sea el término municipal de la ciudad y las demás cuencas vertientes a ella) superando los 120 km<sup>2</sup> de dominio de análisis.

El modelo, de más de 85 000 nodos y con un dominio 2D discretizado en una malla no estructurada de más de 1 360 000 celdas ha sido desarrollado a través del software Infoworks ICM (*Integrated Catchment Modelling*) ([www.innovyze.com](http://www.innovyze.com)) y se ha calibrado y validado empleando los datos históricos registrados por más de 100 limnómetros instalados en la red de alcantarillado de la ciudad y más de 20 pluviógrafos uniformemente distribuidos en el ámbito hidrológico objeto de estudio (Russo, 2018; 2019). El modelo de drenaje dual del proyecto RESCCUE ha permitido estimar los parámetros del flujo (calado y velocidad) en superficie durante diferentes episodios de inundación para escenarios actuales y futuros y evaluar así la peligrosidad y el riesgo socio-económico de cada uno de dichos eventos. Los mismos parámetros han sido empleados para alimentar modelos sectoriales de otros servicios urbanos para valorar los efectos en cascada de las inundaciones en dichos sectores.

El modelo ha requerido información topográfica (datos físicos de la red, modelo digital del terreno 2×2 m con resolución en altura de 15 cm) y fenomenológica (datos de lluvia y de nivel o de caudal para la fase calibración) de mucha calidad, además de una configuración de hardware suficiente para llevar a cabo el número de simulaciones necesarias sin demasiados costes computacionales (Russo et al., 2015).

## Modelo integrado inundación – tráfico de superficie

Las simulaciones relativas al modelo integrado inundación – tráfico de superficie en Barcelona se han llevado a cabo a través de un modelo mesoescalar y el software TransCAD utilizado por el departamento de movilidad del Ayuntamiento (<https://www.caliper.com/tcovu.htm>). El modelo mesoescalar simula el flujo vehicular en cada tramo de la red de carreteras y calles de la ciudad. Cada tramo contiene información detallada relativa al volumen de tráfico, su tipología (por ejemplo: cantidad de coches, camiones, bicicletas, etc.), tiempo de viaje, capacidad residual del tramo, etc. Los mapas de inundación producidos a través del modelo de drenaje dual de la ciudad han sido empleados como *inputs* en el modelo de tráfico y analizados espacialmente para derivar los efectos dentro de la red de transporte superficial de la ciudad. El modelo mesoescalar contiene información sobre las velocidades máximas permitidas en cada calle.

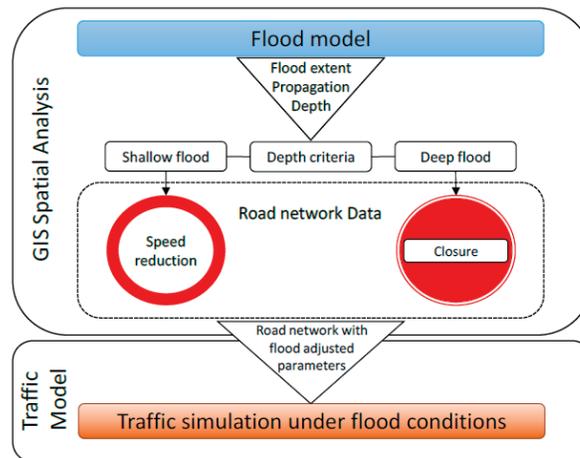
Un estudio reciente desarrollado por Pyatkova et al. (2015) analizó como la altura de agua en superficie durante un episodio de inundación afectaba a la velocidad media de desplazamiento de los vehículos en tramos inundados hasta llegar a un límite máximo a partir del cual se imposibilitaba el flujo vehicular (Tabla 2). El modelo mesoescalar contiene información sobre las velocidades máximas permitidas en cada calle de la ciudad. El proceso de integración del modelo de inundación–tráfico ha sido obtenido alterando los parámetros relacionados con la velocidad del tráfico de las calles urbanas en función de los calados de inundación (Figura 7).

Este tipo de modelo integrado ha permitido obtener mapas sobre el funcionamiento de las calles urbanas de Barcelona en caso de eventos de lluvia extremos para escenarios actuales y futuros además de estimar el incremento de los tiempos de viaje en la ciudad y su monetización en términos de costes indirectos.

El modelo en cuestión que se ha propuesto para este tipo de análisis ha requerido licencia de GIS Spatial Analysis para llevar a cabo las tareas de selección de los tramos afectados.

**Tabla 3** | Parámetros para determinar los efectos de las profundidades de inundación en la velocidad del tráfico (Fuente: RESCCUE Deliverable 3.1; Evans, 2017).

Flood Depth Range (cm)	Maximum Permitted Speed kmh <sup>-1</sup>
0.00 – 10.00	Roads maximum speed
10.00 – 30.00	20
30.00 +	0 (Link closed)



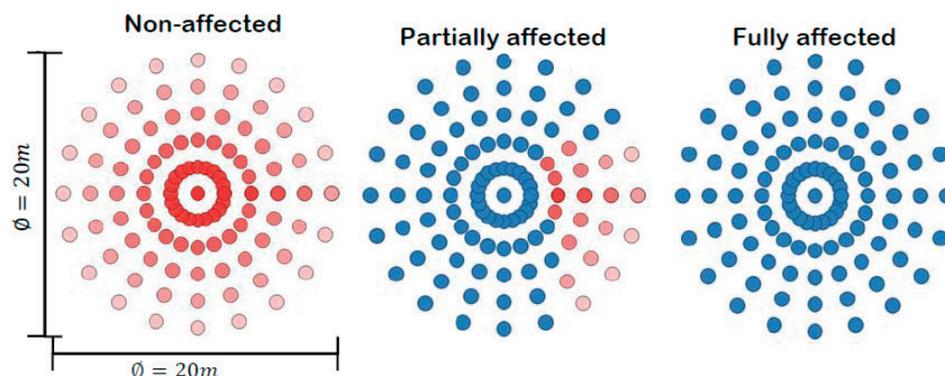
**Figura 7** | Integración del modelo de inundación y el modelo mesoescalar de tráfico de superficie en Barcelona (Fuente: RESCCUE Deliverable 3.1; Evans, 2017).

## Modelo integrado inundación – sistema eléctrico

El objetivo de este modelo es analizar los efectos potenciales de las inundaciones pluviales, fluviales y costeras sobre el sistema eléctrico de la ciudad de Barcelona, con especial énfasis en infraestructuras críticas como subestaciones de alto y medio voltaje, así como centros de distribución. Para el caso de las inundaciones pluviales, el análisis ha tenido también en consideración los posibles efectos de cambio climático.

En particular, el grado de inundación de cada una de las infraestructuras eléctricas consideradas, se ha hecho en base a áreas de influencia de inundación de 10 m de radio con respecto a su posición, considerando además los valores de los calados de inundación cada 2 m con el fin de evitar desajustes y tener así en cuenta la incertidumbre potencial de los datos de origen proporcionados por el modelo hidrodinámico acoplado 1D/2D (Evans, 2019). Además, se utilizó un umbral de 10 cm para considerar las situaciones de inundación significativa. A través de estos parámetros, las afecciones se clasificaron en completas, parciales o nulas según el esquema de la Figura 8, cuantificando, además, el porcentaje de afectación de cada área de influencia.

Una de las incertidumbres más importantes de este modelo es el poco conocimiento sobre las especificidades de la localización de las infraestructuras críticas eléctricas (a veces localizadas en superficies, otras veces subterráneas o con elementos de auto-protección no siempre conocidos).



**Figura 8** | Áreas de influencia de inundación y niveles de afectaciones de las infraestructuras del sistema eléctrico. (Fuente: RESCCUE Deliverable 3.4; Evans, 2019).

## Modelo integrado inundación – sistema de recogida de residuos

Cuando se produce una inundación urbana, los contenedores de basuras dislocados en las calles de la ciudad, pueden perder su estabilidad y, al volcar o ser arrastrados, pueden generar el vertido de escombros y lixiviados al medio urbano. Por otro lado, los contenedores desplazados por el flujo, pueden obstruir vías de desagüe superficial u obstruir puntos de inmisión de caudales a la red exacerbando en ambos casos los efectos de la inundación. En consecuencia, la estabilidad de los contenedores de residuos urbanos frente a episodios de inundación constituye una preocupación a la vez ambiental, de seguridad y salud pública que se ha abordado, en el marco del proyecto RESCCUE, a través del desarrollo y calibración de un modelo integrado inundación – sistema de recogida de residuos.

En Barcelona hay más de 27000 contenedores, que pueden clasificarse de acuerdo con la fracción que contienen (es decir, residuos, orgánicos, papel y cartón, plástico y envases, y vidrio), su volumen en litros (es decir, 3200; 3000; 2400; 2200; y 1800) o la forma en que se cargan (es decir, lateral, bilateral, trasera, subterránea) (Figura 9) (Russo, 2018). La distribución porcentual según sus fracciones es la siguiente: 44% (residuos), 22% (orgánico), 12% (papel y cartón), 11% (plástico y embalaje) y 11% (vidrio), mientras en cuanto a su carga, su distribución es la siguiente: 62% (lateral), 25% (bilateral), 12% (trasero) y 1% (subterránea). De estas tipologías de contenedores, se han hallado curvas de estabilidad en función de los parámetros del flujo velocidad y calado máximos. Finalmente, con el fin de estudiar la estabilidad de estos contenedores, se ha analizado su localización a partir de datos proporcionados por el Ayuntamiento de Barcelona (Figura 10) y se ha cruzado esta información con los mapas de inundación de eventos históricos y sintéticos para calibrar el modelo y estimar cuáles de éstos elementos expuestos a la acción del flujo perdían su estabilidad.

En síntesis, el modelo propuesto se basa en el conocimiento de los valores de los parámetros del flujo (calado y velocidad) de inundación en calles urbanas, la localización de los contenedores, sus tipologías y sus curvas de estabilidad.

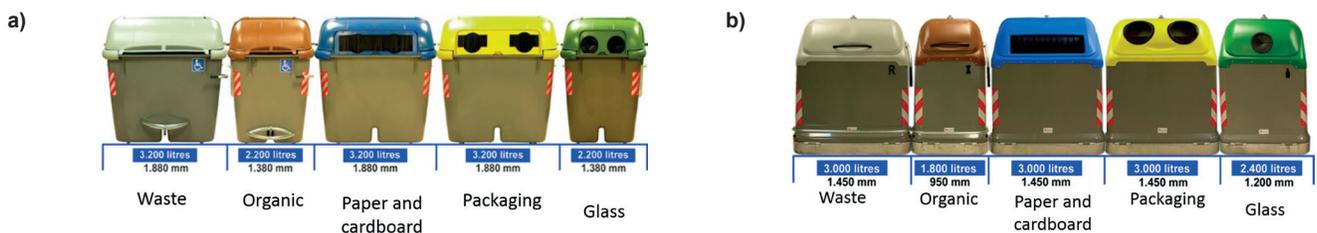


Figura 9 | Tipologías de contenedores en Barcelona (Fuente: RESCCUE Deliverable 2.4; Russo, 2018).

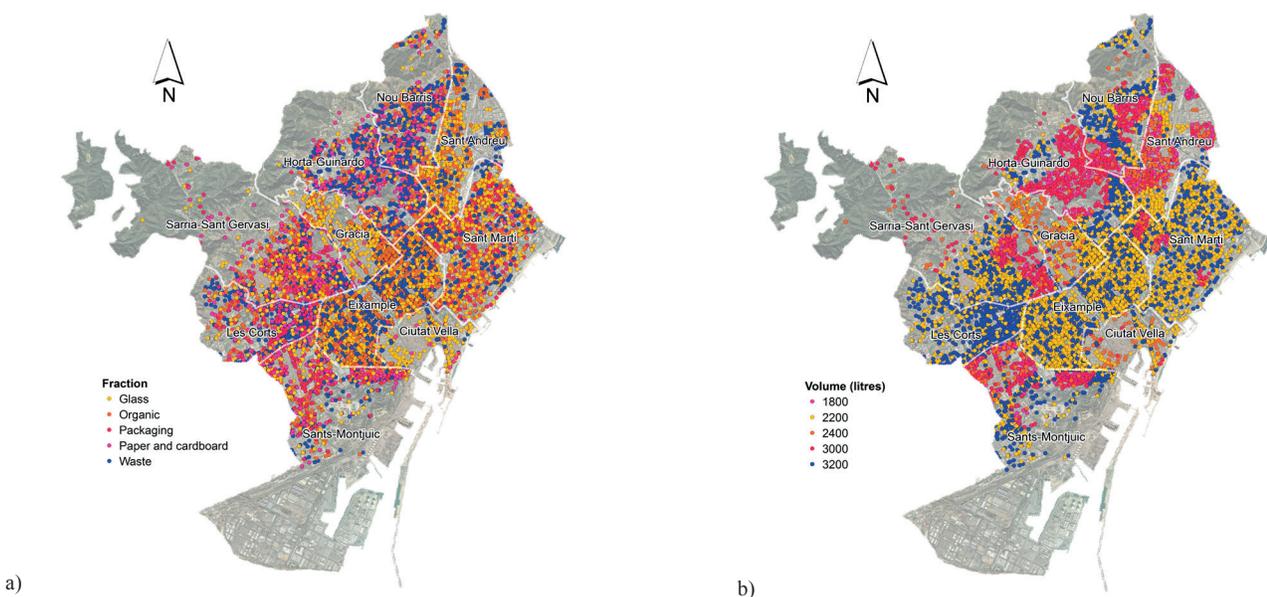


Figura 10 | Geolocalización de los contenedores en Barcelona en función de la fracción de residuos a) y su volumen b) (Fuente: RESCCUE Deliverable 2.2; Russo, 2019).

## Modelización holística de la resiliencia urbana en Barcelona

La información proporcionada por los modelos sectoriales e integrados ha sido empleada por la herramienta holística HAZUR® (de Opticits) para la evaluación de los potenciales efectos en cascada de las inundaciones sobre múltiples servicios urbanos (también otros no contemplados en la modelización sectorial e integral mencionada anteriormente) y para estimar el tiempo de recuperación de los servicios afectados antes y después de la implementación de las medidas de adaptación. Este estudio ha supuesto, para el caso de Barcelona, la consideración de 34 servicios urbanos agrupados en 9 sectores, de los cuales dependen 563 infraestructuras. Los sectores analizados han sido el sector del agua, el de la energía, telecomunicaciones, movilidad, emergencias, salud pública, medioambiente, residuos y la ciudadanía. La herramienta HAZUR® es capaz de analizar los efectos en cascada generados a partir de ciertos impactos. Para el caso de las inundaciones, se han analizado los impactos asociados a inundaciones pluviales producidos por eventos sintéticos de lluvia extrema con diferentes periodos de retorno, tanto a nivel global en la ciudad como a nivel sectorial para los servicios de tráfico de vehículos y el sistema eléctrico (Tabla 4 y Figura 11), incorporando los efectos del cambio climático (escenario *Business as Usual* o BAU).

El análisis holístico permite analizar los cambios que se producen en los tiempos de recuperación de la ciudad (relacionados con los tiempos que los servicios urbanos están funcionando de forma degradada o que se hayan caído totalmente), al pasar del escenario actual (*Baseline*) a un escenario de cambio climático (BAU).

**Tabla 4** | Impactos y escenarios simulados en la herramienta HAZUR debidos a las inundaciones pluviales producidas en la ciudad de Barcelona.

IMPACTOS	PERIODOS DE RETORNO	ESCENARIOS
Inundaciones pluviales	01. Evento de lluvia sintético con periodo de retorno de 1 año (T1)	Baseline BAU
	02. Evento de lluvia sintético con periodo de retorno de 10 años (T10)	
	03. Evento de lluvia sintético con periodo de retorno de 50 años (T50)	
	04. Evento de lluvia sintético con periodo de retorno de 100 años (T100)	
	05. Evento de lluvia sintético con periodo de retorno de 500 años (T500)	
Impactos de las inundaciones sobre el tráfico	01. Evento de lluvia sintético con periodo de retorno de 1 año (T1)	Baseline BAU
	02. Evento de lluvia sintético con periodo de retorno de 10 años (T10)	
	03. Evento de lluvia sintético con periodo de retorno de 50 años (T50)	
	04. Evento de lluvia sintético con periodo de retorno de 100 años (T100)	
	05. Evento de lluvia sintético con periodo de retorno de 500 años (T500)	
Impactos de las inundaciones sobre el sistema eléctrico	01. Evento de lluvia sintético con periodo de retorno de 1 año (T1)	Baseline BAU
	02. Evento de lluvia sintético con periodo de retorno de 10 años (T10)	
	03. Evento de lluvia sintético con periodo de retorno de 50 años (T50)	
	04. Evento de lluvia sintético con periodo de retorno de 100 años (T100)	
	05. Evento de lluvia sintético con periodo de retorno de 500 años (T500)	

## RESULTADOS

Los modelos sectoriales e integrados descritos en la sección anterior han permitido estimar los potenciales efectos del cambio climático en el drenaje urbano de la ciudad de Barcelona y en toda una serie de servicios relacionados. Se han obtenido resultados en términos de evaluación de la peligrosidad asociada a eventos de lluvia extremos, así como en términos de riesgo socio-económicos y de impactos sobre otros sectores de la ciudad y, a continuación, se presentan algunos resultados obtenidos (Evans, 2019; Russo, 2019).

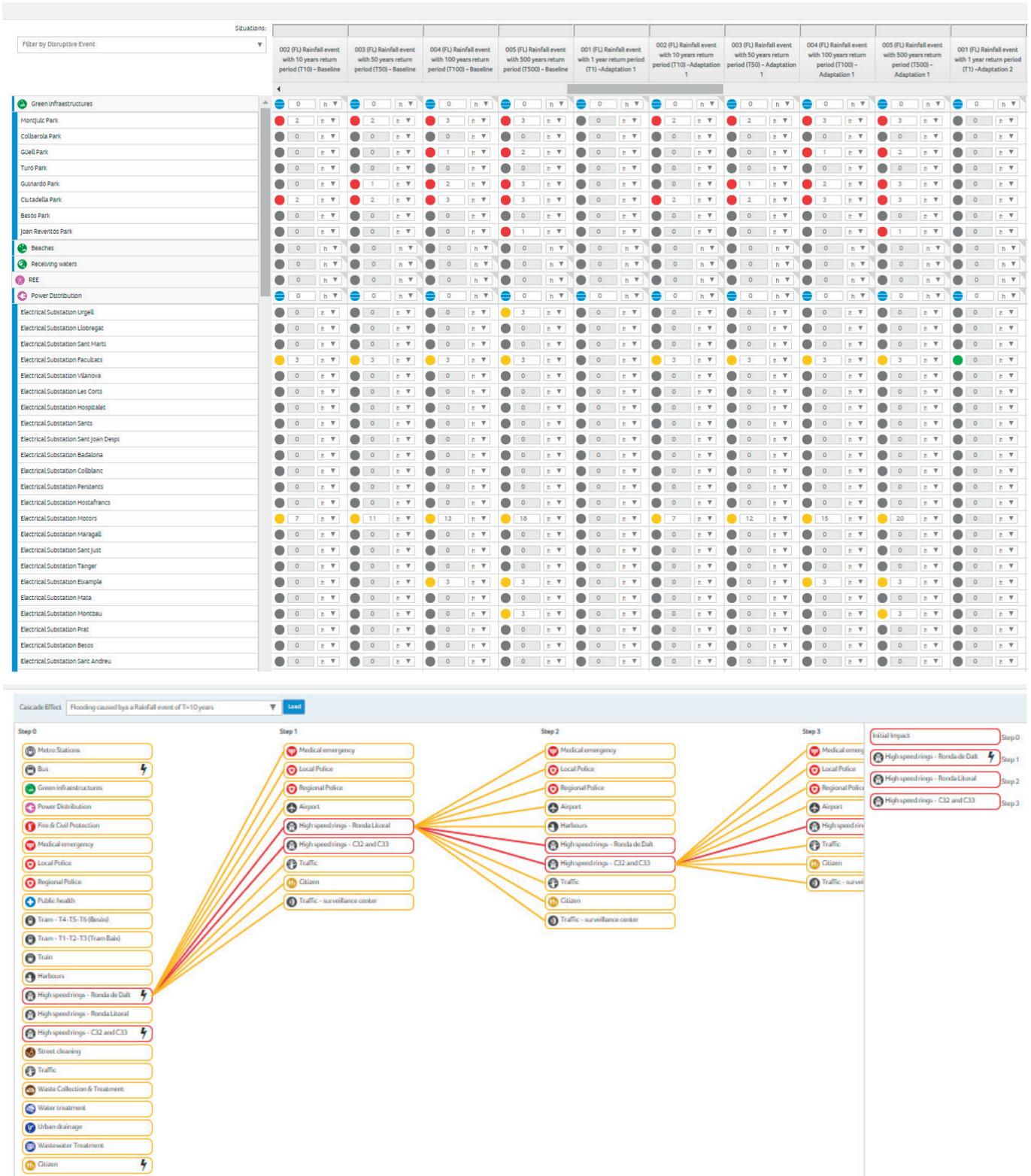


Figura 11 | Ejemplo de matriz de impactos (arriba) y de simulación de efectos en cascada sobre servicios urbanos e infraestructuras críticas debidos a un evento de lluvia extremo.

## Impactos de las inundaciones sobre la seguridad de personas y vehículos

Los riesgos referentes a la seguridad de las personas que se han evaluados en Barcelona se centran en la estabilidad de los peatones y de los vehículos expuestos a flujos de agua. En el proyecto RESCCUE, el riesgo se ha definido como la combinación de la peligrosidad y la vulnerabilidad. La peligrosidad se basa en la magnitud y frecuencia de las variables hidrodinámicas, resultado del modelo acoplado 1D/2D, y se clasifica en base a criterios específicos basados en los límites de estabilidad tanto para peatones como para vehículos. En general, hay un amplio consenso en que, tanto para peatones como para vehículos (Reiter, 2000; Shand et al., 2011), las variables que influyen son el calado de agua y la velocidad, proponiéndose umbrales de estabilidad según la función velocidad por calado  $((v \cdot y) = a)$ . En el proyecto RESCCUE se han considerado criterios de peligrosidad basados en estudios experimentales llevados a cabo en la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) (Russo et al., 2009, 2013; y Martínez-Gomariz et al., 2016, 2017), mediante los cuales se proponen expresiones para evaluar la estabilidad de peatones y vehículos expuestos a flujos de agua. El límite de estabilidad de peatones que se propone es el producto  $(v \cdot y) = 0.22$ , con una velocidad máxima aceptable de 1.88 m/s.

En cuanto a la estabilidad de los vehículos, se propuso una formulación de base experimental para poder estimar la curva de estabilidad asociada a un Seat Ibiza, un vehículo bastante común en las ciudades españolas y que se estableció como referencia para este estudio (Martínez-Gomariz et al., 2017).

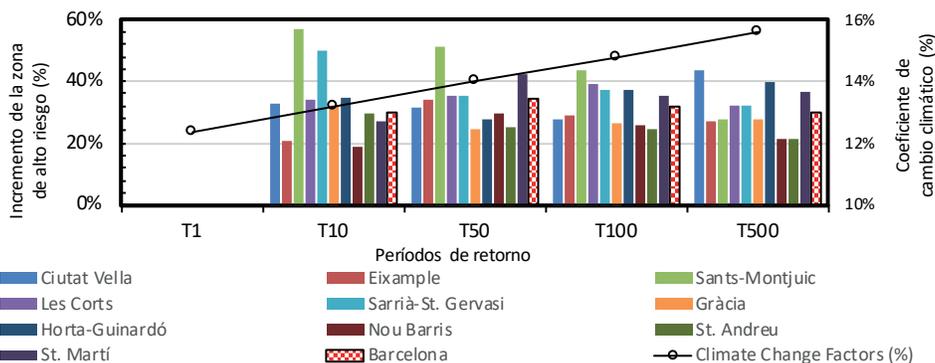
Por otro lado, de cara a definir el riesgo para peatones y vehículos, se han propuestos criterios de vulnerabilidad, según diferentes indicadores (densidad demográfica, porcentaje de personas con edad crítica, porcentaje de foráneos, presencia de infraestructuras sensibles, etc.) por cada una de las áreas censales de la ciudad.

Sin embargo, la vulnerabilidad para vehículos se ha definido en base únicamente a un indicador de exposición, la intensidad diaria de vehículos en las carreteras y viales del municipio de Barcelona. Sobre estas bases, se han generado mapas para la peligrosidad peatonal y vehicular y los diferentes periodos de retorno y escenarios climáticos para el periodo 2071-2111 y finalmente se ha analizado el riesgo alto por cada barrio de la ciudad.

Los resultados indican que, para este horizonte temporal, las áreas potencialmente afectadas por riesgo alto de inundación para peatones seguirían despreciables para eventos de lluvia con periodo de retorno de 1 año, mientras estarían mediamente por debajo del 5% de la superficie total de la ciudad para episodios más extremos (periodo de retorno entre 10 y 500 años) aunque se alcanzarían valores superiores al 10% en algunos distritos como Ciutat Vella y l'Eixample (Figura 12). El análisis de incremento del riesgo alto para peatones por efecto de cambio climático, indica que las superficies clasificables como de alto riesgo aumentarían entre el 20 y el 40% prácticamente para todos los periodos de retorno y todos los distritos.

Para el mismo escenario de cambio climático, en relación al riesgo de inundación para la circulación de vehículos, el área clasificable con riesgo alto sería sensiblemente menor (casi siempre menos del 5% de la superficie transitable de toda la ciudad) pero los incrementos en porcentaje serían superiores (generalmente entre el 40 y el 60%).

Cabe destacar que, debido a los efectos potenciales del cambio climático, los incrementos de las superficies clasificadas como de riesgo alto son superiores a las intensidades medias máximas de las lluvias.



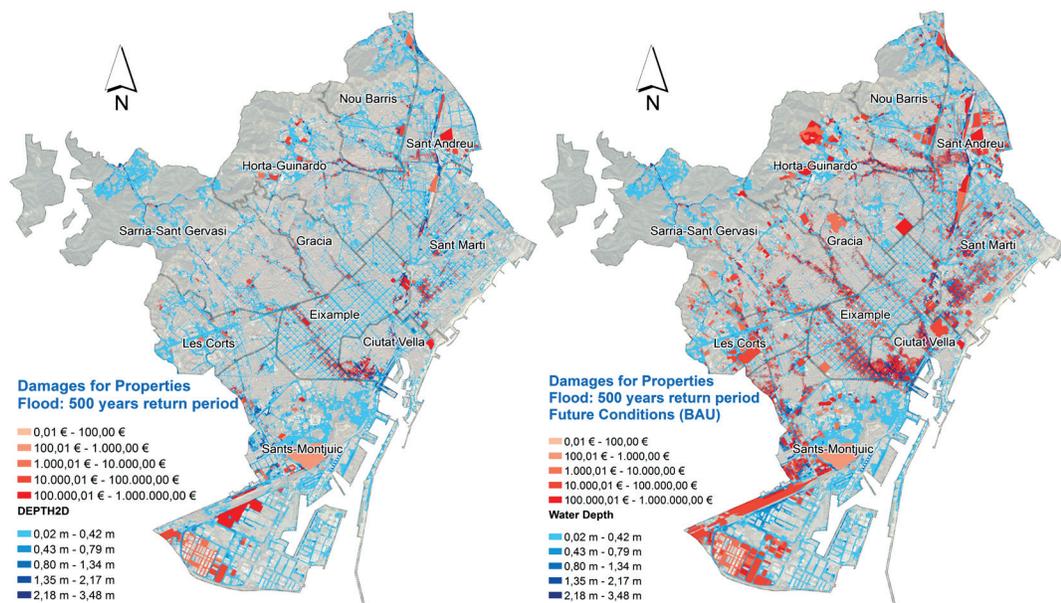
**Figura 12** | Incrementos de las superficies de riesgo alto para peatones en zonas inundables por efecto del cambio climático (Fuente: RESCCUE Deliverable 3.4; Evans, 2019).

## Impactos tangibles directos e indirectos

Para la estimación de los daños directos tangibles generados por inundaciones urbanas, se han considerado tanto las propiedades como los vehículos, siendo estas dos categorías las más significativas en cuanto a reclamaciones al Consorcio de Compensación de Seguros que es una entidad pública que da cobertura a las pérdidas generadas, entre otras cosas, por fenómenos climáticos extremos.

En la metodología desarrollada para estimar daños a propiedades, los calados en las calles, obtenidos mediante el modelo hidrodinámico acoplado, se ven reducidos no solo por el eventual escalón a la entrada de la propiedad, sino también por lo que se ha definido como curva de coeficientes de estanqueidad. Para cada uno de los 14 usos del suelo considerados, se ha construido una curva de daños y otra de coeficientes de estanqueidad. La segunda permite obtener el calado dentro de los edificios mientras que la primera evalúa el daño para este calado. Además, se propone un calado máximo cuando existen pisos inferiores, de forma que cuando dicho nivel se alcanza, únicamente se produce transferencia de agua a niveles inferiores. Se han considerado configuraciones sin sótanos, con un sótano y hasta dos sótanos. Por otro lado, se consideran configuraciones con o sin aparcamientos, puesto que cuando existe aparcamiento, el agua accede desde el piso superior, pero también directamente desde la calle, aspecto que se considera también mediante las curvas de coeficientes de estanqueidad.

Respecto a la evaluación de daños a vehículos, se ha propuesto una metodología novedosa que, aunque también se basa en el concepto de curvas de daños, presenta la dificultad e incertidumbre añadida de que los vehículos son elementos móviles. En este caso, no se han elaborado curvas de daños específicas, sino que se parte del trabajo realizado por el Cuerpo del Ejército de los Estados Unidos de América (USACE, 2009), que presenta 5 tipologías de vehículos y el daño está expresado en tanto por ciento, lo que permite emplearlas en otros países sin que el valor de éstos sea específico estadounidense.



**Figura 13** | Ejemplo de mapas de daño para un evento de inundación pluvial con periodo de retorno de 500 años para el escenario actual (izquierda) y el escenario futuro (derecha). (Fuente: RESCUE Deliverable 3.4; Evans, 2019).

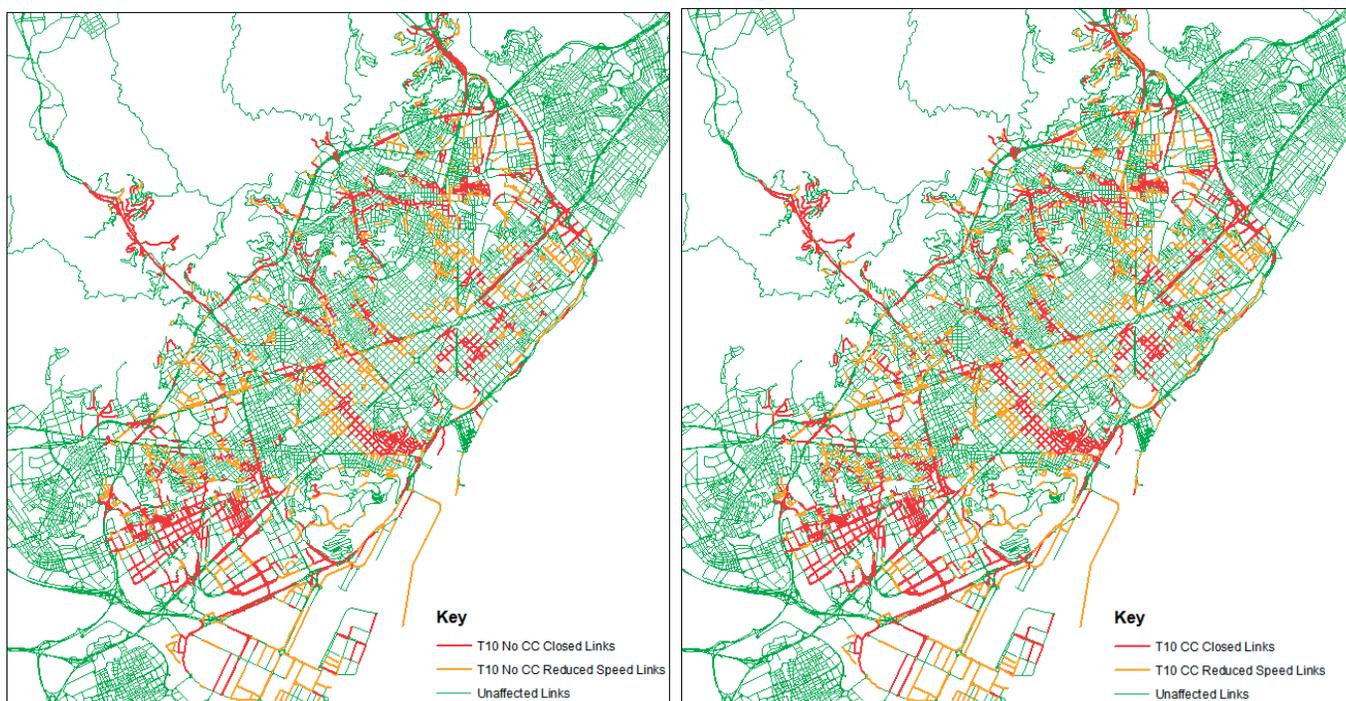
A partir de un estudio de una fotografía aérea de Barcelona, se han delimitado vehículos en diferentes zonas, para poder estimar un valor promedio de ocupación vehicular por área útil, que se ha extrapolado por todo el municipio definiendo patrones de ocupación. Los calados resultados de las diferentes simulaciones quedan almacenados en cada triángulo de la malla cálculo. La localización de cada triángulo en los diferentes patrones de ocupación vehicular permite establecer un área en planta de vehículos que será afectada por el calado contenido en dicho elemento. Las curvas de daños originales (USACE, 2009) han sido modificadas para presentarse en unidades del sistema internacional y convertir el daño porcentual en euros por metro cuadrado de vehículo afectado. Estas curvas han sido convertidas en una única curva de daños ponderada según el porcentaje de las tipologías de vehículos

que hay en Barcelona. De esta manera, aplicando una única curva ponderada, la probabilidad de los diferentes tipos de vehículos para ser dañados está implícita. Esta metodología se encuentra ampliamente descrita y validada en Martínez-Gomariz et al. (2018b). También para este tipo de análisis, se han generado mapas de daños para diferentes periodos de retorno (Figura 12) y los escenarios actual y futuro. Para ambos escenarios, además, se ha calculado también el Daño Anual Esperado (o EAD de su sigla en inglés *Expected Annual Damage*). Los resultados indican que debido al cambio climático el EAD pasaría de 39.8 M€ a 54.7 M€.

Se hace constar que en el marco del proyecto RESCCUE, se ha desarrollado también una metodología para el cálculo de los daños indirectos de una inundación pluvial urbana en Barcelona basado en un método econométrico de tablas I-O (*Input-Output*) que han dado como resultado una relación lineal entre daños tangibles directos y daños tangibles indirectos y según la cual los daños indirectos representan aproximadamente el 29% de los daños directos (Evans, 2019).

## Impactos de las inundaciones urbanas sobre el tráfico de superficie

La capacidad de una ciudad para funcionar durante un evento meteorológico extremo depende también de la facilidad de movimiento de las personas dentro de esta. Los resultados de los impactos de las inundaciones en el sistema de tráfico superficial se presentan en términos de mapas de peligrosidad según los criterios presentados en la Tabla 3 dependientes de los máximos calados alcanzados durante un evento en los tramos de calles de la ciudad para diferentes eventos sintéticos y escenarios actual (*Baseline*) y futuro (*Climate Change Scenario*) y el horizonte 2071-2100 (Figura 14).

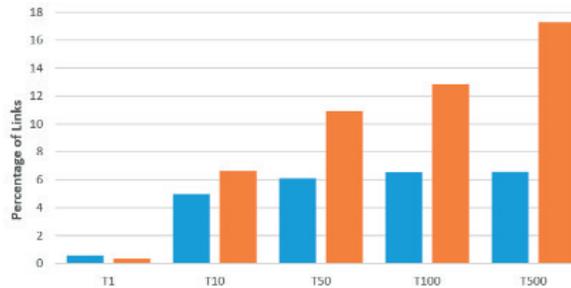


**Figura 14** | Mapas de peligrosidad de inundaciones para el tráfico superficial para una lluvia sintética con periodo de retorno de 10 años y los escenarios actual (izquierda) y futuro (derecha). (Fuente: RESCCUE Deliverable 3.4; Evans, 2019).

En la Figura 15 se representa el porcentaje de los tramos de calles afectados por inundaciones para los diferentes periodos de retorno analizados y el escenario de cambio climático. Con respecto al escenario actual, el incremento de tramos que se verían afectados por reducción de velocidad estaría entre el 3 y el 30% en función del periodo de retorno, mientras el incremento de tramos con bloqueo del tránsito estaría alrededor de aproximadamente un 20% para todos los periodos de retorno considerados.

Finalmente, a través del modelo de tráfico mesoescalar TransCAD, se ha calculado el incremento del tiempo de tránsito para todos los eventos sintéticos y, siguiendo la metodología propuesta por el Multi-Colour Handbook (Penning-Rowell, 2005) se ha

monetizado este incremento de tiempo obteniendo un EAD para el escenario futuro de aproximadamente 2.0 M€ que comparados con el escenario actual con un EAD de 1.82 M€ indica un aumento alrededor del 10% (Evans, 2019).



**Figura 15** | Impactos de las inundaciones en términos de tramos afectados por cierre (en naranja) o reducción de velocidad (azul) para el escenario futuro de cambio climático (Periodo 2071-2100). (Fuente: RESCCUE Deliverable 3.4; Evans, 2019).

## Impactos de las inundaciones sobre el sistema eléctrico

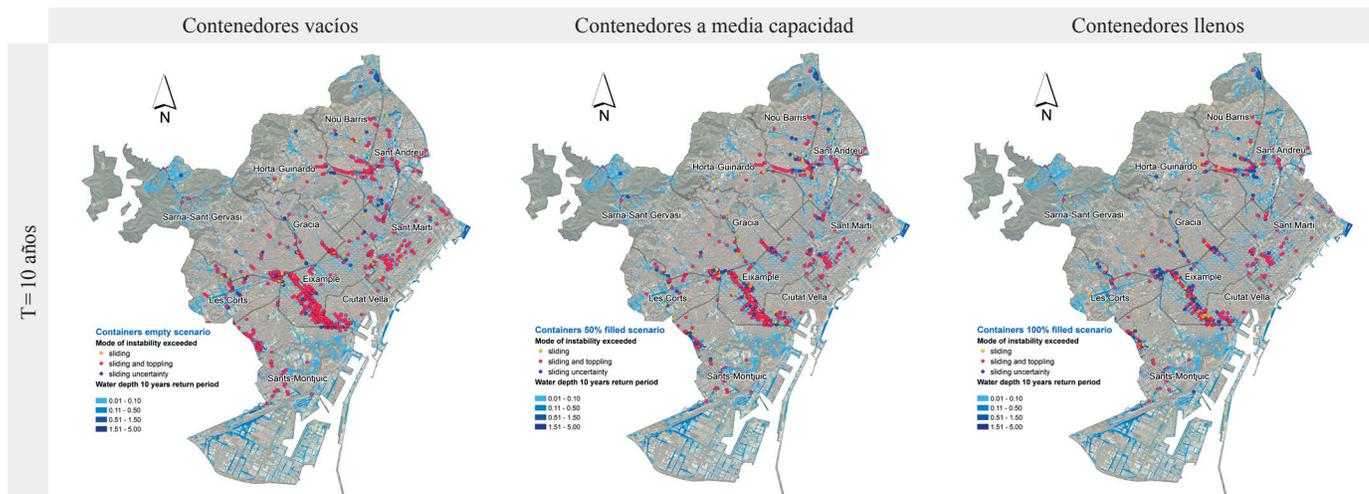
El modelo integrado inundación – sistema eléctrico ha permitido evaluar los efectos potenciales de las inundaciones sobre el sistema eléctrico. Para el análisis de impactos, se ha empleado una curva de vulnerabilidad (*fragility curve*) de la infraestructura eléctrica propuesta por la Federal Emergency Management Agency (FEMA, 2009) que relaciona su probabilidad de fallo al calado máximo de inundación. Además, esta curva ha sido parcialmente modificada para llevar a cabo un análisis de sensibilidad de los resultados finales respecto a este *input*. Finalmente, a través de los valores de calado proporcionados por el modelo hidrodinámico, la metodología sobre la creación de los mapas de peligrosidad para infraestructuras eléctricas mencionada anteriormente y la aplicación de las curvas de vulnerabilidad se ha obtenido un cuadro de las afecciones potenciales al sistema eléctrico para el escenario actual y futuro y diferentes tipos de inundación (pluvial, fluvial y costero) (Evans, 2019). Hay que remarcar que se han estudiado las subestaciones de alto (HV) y medio voltaje (MV) con potencial peligro de inundación en toda la ciudad, y solamente los centros de distribución (CD) en las zonas de Besòs, Llobregat, y costa.

Risk	Zone	Current scenario					BAU scenario					P(f)<1%	Low Failure Probability (LFP)
		T1	T10	T50	T100	T500	T1	T10	T50	T100	T500		
LFP	HV	0	2	1	1	3	0	1	1	2	4	1%<P(f)<=10%	Moderate Failure Probability (MFP)
	MV	0	2	7	9	9	0	3	9	9	9		
	CD-Besòs	4	82	129	155	190	6	99	153	177	218		
	CD-Llobregat	2	43	57	65	74	3	51	61	67	79		
MFP	CD-seashore	2	22	33	36	50	2	25	37	42	58	10%<P(f)<=50%	High Failure Probability (HFP)
	HV	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0		
	CD-Besòs	0	4	3	3	4	0	4	7	5	4		
	CD-Llobregat	0	2	3	2	0	0	2	6	5	1		
HFP	CD-seashore	0	0	2	2	1	0	1	2	2	1	P(f)>50%	Non-Acceptable Failure Probability (NAFP)
	CD-Besòs	0	3	5	5	2	0	4	5	6	2		

**Figura 16** | Resumen del análisis de impactos producidos por inundaciones sobre el sistema eléctrico al aplicar la curva de vulnerabilidad original del FEMA (2009). (Fuente: RESCCUE Deliverable 3.4; Evans, 2019).

## Impactos de las inundaciones sobre el sistema de recogida de residuos

El modelo integrado de inundación – recogida de residuos ha permitido estimar el número de contenedores potencialmente inestables y localizarlos en mapas específicos en función de su tipología y grado de llenado. Este análisis ha evidenciado que para episodios extremos de lluvia (por ejemplo, con periodo de retorno de 50 años), algunos distritos de la ciudad como Ciutat Vella y l'Eixample podrían llegar a tener entre el 20 y el 25% de sus contenedores arrastrados por el flujo y que, en algunos casos, esta cantidad podría llegar a incrementarse hasta valores superiores al 30% para el escenario de cambio climático (Evans, 2019).



**Figura 17** | Mapas de inestabilidad de contenedores en función del periodo de retorno y su grado de llenado para el escenario actual. (Fuente: RESCCUE Deliverable 2.4; Russo, 2019).

## Impactos de las inundaciones sobre el tiempo de recuperación de la ciudad

El modelo holístico se ha empleado para determinar el tiempo de recuperación de una ciudad frente a episodios de inundación pluvial producidos por eventos de lluvias extremos. El análisis de las simulaciones holísticas ha permitido estimar en aproximadamente dos horas el tiempo de recuperación de la ciudad (valor medio de las simulaciones para todos los periodos de retorno considerados) para el escenario de cambio climático BAU respecto al valor de 1.5 horas del escenario actual.

## CONCLUSIONES

En este trabajo se ha evidenciado como la integración de un modelo acoplado 1D/2D de drenaje urbano con modelos y metodologías de simulación del comportamiento de otros servicios urbanos puede ayudar a simular la respuesta de éstos frente a episodios meteorológicos extremos. Además, a partir de esta integración se pueden estimar los impactos socio-económicos asociado a dichos eventos y analizar los efectos en cascada, así como las interrelaciones entre servicios e infraestructuras críticas.

En el proyecto RESCCUE, se han estudiado los efectos de las inundaciones en un contexto potencial del cambio climático para la ciudad de Barcelona a través de un enfoque multi-riesgo y cuyos resultados, en términos de impactos tangibles e intangibles, se presentan en este artículo. Barcelona podría experimentar un aumento significativo de los impactos de eventos meteorológicos extremos sobre sus servicios urbanos si no se adoptan medidas de adaptación. Dichas medidas se estudiarán para incrementar la resiliencia de la ciudad y de sus servicios urbanos frente a este tipo de amenazas climáticas haciendo que la ciudad recupere su plena funcionalidad lo más pronto posible.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo del proyecto RESCCUE (*RESilience to cope with Climate Change in Urban arEas – a multisectorial approach focusing on water*), financiado por el programa H2020 de la Unión Europea (Acuerdo No. 700174).

## REFERENCIAS

- Ecologia Urbana. 2018. *Pla Clima 2018-2030*. Ajuntament de Barcelona.
- Evans, B. 2017. Deliverable 3.1. Selection of methods for quantification of impacts of identified hazards. *Deliverable 3.1. RESCCUE Project*. Grant Agreement No. 700174. Disponible en <http://www.resccue.eu>
- Evans, B. 2019. Deliverable 3.4. Impact assessments of multiple hazards in case study areas. *Deliverable 3.4. RESCCUE Project*. Grant Agreement No. 700174. Disponible en <http://www.resccue.eu>
- Federal Emergency Management Agency (FEMA). 2009. Multi-Hazard Loss Estimation Methodology, Flood Model: Hazus-MH MR4 Technical Manual. 2009th ed. Disponible en [https://www.fema.gov/media-library-data/20130726-1820-25045-8292/hzmh2\\_1\\_fl\\_tm.pdf](https://www.fema.gov/media-library-data/20130726-1820-25045-8292/hzmh2_1_fl_tm.pdf).
- Martínez-Gomariz, E., Gómez, M., Russo, B. 2016. Estabilidad de personas en flujos de agua. *Ingeniería del agua*, 20,(1), 43-58. <https://doi.org/10.4995/ia.2016.4231>
- Martínez-Gomariz, E., Gómez, M., Russo, B. 2017. A new experiments-based methodology to obtain the stability threshold for any real vehicle exposed to flooding. *Urban Water Journal*, 14(9), 930-939. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2017.1301501>
- Martínez-Gomariz, E., Gómez, M., Russo, B. 2018a. Stability criteria for flooded vehicles: A state of the art review. *Journal of Flood Risk Management*, 11, S817-S826. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12262>
- Martínez-Gomariz, E., Gómez, M., Russo, B., Sánchez, P., Montes, J. A. 2018b. Methodology for the damage assessment of vehicles exposed to flooding in urban areas. *Journal of Flood Risk Management*, 12(3), e12475 (Early View). <https://doi.org/10.1111/jfr3.12475>
- Monjo R., Gaitán E., Pórtoles J., Ribalaygua J., Torres L. 2016. Changes in extreme precipitation over Spain using statistical downscaling of CMIP5 projections. *International Journal of Climatology*, 36, 757-769. <https://doi.org/10.1002/joc.4380>
- Monjo R., Paradinas C., Gaitán E., Redolat D., Paradinas C., Prado C., Portolés J., Torres L., Ribalaygua J. Russo B., Velasco M., Pouget L., Vela S., David M. L., Morais M., Ribalaygua J. 2018. Report on extreme events predictions. *Deliverable 1.3 RESCCUE Project*. Grant Agreement No. 700174. Disponible en <http://www.resccue.eu>
- Penning-Rowsell, E., Johnson, C., Tunstall, S., Tapsell, S., Morris, J., Chatterton, J., Green, C. 2005. *The benefits of flood and coastal risk management: A handbook of assessment techniques*. North London Business Park, Oakleigh Road South, London, England: Flood Hazard Research Centre, Middlesex University Press.
- Pyatkova K., Chen A. S., Djordjevic S., Butler D., Vojinovic Z., Abebe Y. A., Hammond M. 2015. Flood Impacts on Road transportation Using Microscopic Traffic Modelling Technique [Conference]. *SUMO User Conference*.
- Reiter, P. 2000. International methods of Risk Analysis, Damage evaluation and social impact studies concerning Dam-Break accidents. *EU-Project RESCDAM*. Seinäjoki, Finlandia.
- Russo, B., Gómez, M., Macchione, F. 2013. Pedestrian hazard criteria for flooded urban areas. *Nat Hazards*, 69, 251-265. <https://doi.org/10.1007/s11069-013-0702-2>
- Russo B., Pouget L., Malgrat P., García J. 2011. Evaluación del impacto del cambio climático en un caso de estudio de Barcelona a través de una modelización 2D-1D del drenaje dual. *JIA2011*. Barcelona, España. ISBN: 13-978-84-615-4023-5.
- Russo B., Sunyer D., Velasco M., Djordjević S. 2015. Analysis of extreme flooding events through a calibrated 1D/2D coupled model: the case of Barcelona (Spain). *Journal of Hydroinformatics*, 17(3), 473-491. <https://doi.org/10.2166/hydro.2014.063>
- Russo B. 2018. Multi-hazards assessment related to water cycle extreme events for current scenario. *Deliverable 2.4 RESCCUE Project*. Grant Agreement No. 700174. Disponible en <http://www.resccue.eu>
- Russo B. 2019. Multi-hazards assessment related to water cycle extreme events for future scenarios (Business As Usual). *Deliverable 2.3 RESCCUE Project*. Grant Agreement No. 700174. Disponible en <http://www.resccue.eu>

Shand, T.D., Cox, R., Blacka, M.J., Smith G.P. 2011. Australian Rainfall and Runoff (AR&R). Revision Project 10: Appropriate Safety Criteria for Vehicles (Report Number: P10/S2/020).

U.S. Army Corps of Engineers (USACE). 2009. Economic Guidance Memorandum, 09-04, Generic Depth-Damage Relationships for Vehicles. Washington, D.C, USA

Velasco, M., Russo, B., Martínez, M., Malgrat, P., Monjo, R., Djordjevic, S., Fontanals, I., Vela, S., Cardoso, M.A., Buskute, A. 2018. Resilience to cope with climate change in urban areas-A multisectorial approach focusing on water-The RESCCUE project. *Water*, 10, 1356-1366. <https://doi.org/10.3390/w10101356>