

Inundaciones pluviales en zonas urbanas españolas: un modelo de estimación de daños basado en la experiencia pericial

Eduardo Martínez-Gomariz – Responsable de proyectos de resiliencia, Cetaqua, Centro Tecnológico del Agua (grupo SUEZ)

María Guerrero-Hidalga – Investigadora y gestora de proyectos de sostenibilidad ambiental, económica y social, Cetaqua, Centro Tecnológico del Agua (grupo SUEZ)

Edwar Forero-Ortiz – Investigador en resiliencia, Cetaqua, Centro Tecnológico del Agua (grupo SUEZ)

Salvador Castán – Perito de seguros, Agencia Pericial (AGPERICIAL)

Marc Velasco Droguet – Coordinador del proyecto europeo RESCCUE, Aquatec (grupo SUEZ)

Ángel Villanueva Blasco – Director de Cambio Climático y Resiliencia, Aquatec (grupo SUEZ)

Introducción

De acuerdo con la Agencia de Medioambiente Europea (EEA) (European Environment Agency, 2019) el total de daños económicos declarados en Europa a causa de eventos climáticos extremos en el periodo comprendido entre 1980 y 2017 asciende a, aproximadamente, 435.000 millones de euros, de los cuales 37.000 millones se han dado en España. El Consorcio de Compensación de Seguros (CCS) estima que, aproximadamente, el 50 % de los daños ocasionados están asegurados. Como dato, los daños producidos en Lorca (España) tras el terremoto del 2011 se estimaron por una cantidad de mil millones de euros, de los cuales el 50 % estaban asegurados y, por tanto, se llevaron a cabo las indemnizaciones correspondientes (IDEA -Improving Damage assessments to Enhance cost-benefit Analyses- project, 2014).

Las pérdidas económicas derivadas de inundaciones en zonas urbanas son cada vez más relevantes, en línea con los cambios socioeconómicos producidos, tales como el crecimiento de la población y la mayor densidad de infraestructuras en las ciudades de todo el mundo (UN, 2018). Las inundaciones son el peligro natural más dañino, suponiendo en Europa dos tercios de los daños ocasionados por eventos naturales. Se espera que el aumento de la temperatura a causa del cambio climático intensifique el ciclo hidrológico, produciéndose inundaciones de forma más intensa y frecuente en muchas regiones, con el consiguiente incremento de daños económicos derivados. Sin embargo, tal y como la EEA indica, el incremento de daños por inundación de las últimas décadas puede ser parcialmente atribuido a la urbanización de zonas inundables.

Los daños derivados de una inundación son múltiples y se clasifican en la literatura como tangibles e intangibles, los cuales, a su vez, pueden ser directos o indirectos (Velasco *et al.*, 2016). La evaluación de los daños económicos ocasionados por inundaciones (daños tangibles) es uno de los aspectos que tradicionalmente se ha estudiado con mayor profundidad. En particular, en zonas urbanas, el análisis más extendido hasta el momento es la evaluación de daños a propiedades.

Analizando únicamente las indemnizaciones relacionadas con edificios (excluyendo obras civiles y vehículos), el año 2018 supuso prácticamente un 75 % del total indemnizado concentrado en comercios, almacenes y restos de riesgos.

Se confirma, por tanto, que los comercios son el tipo de propiedad más vulnerable a las inundaciones urbanas de origen pluvial.

Con estos datos, parece destacable la relevancia de las inundaciones urbanas de origen pluvial y queda de manifiesto la necesidad de herramientas que ayuden a estimar los daños que estas pueden ocasionar.

En un contexto europeo de crecientes daños por inundación se publicó la Directiva 2007/60/CE de la Comisión Europea, relativa a la evaluación y gestión de los riesgos de inundación, que obliga a los estados miembros a elaborar, aprobar e implantar planes de gestión del riesgo de inundación. Dicha normativa europea se traspuso a la legislación española mediante el Real Decreto 903/2010 de evaluación y gestión de riesgos de inundación. Una de las medidas incluidas en los Planes de Gestión del Riesgo de Inundación (PGRIs) en España fue la elaboración de una “Guía para la reducción de la vulnerabilidad de los edificios frente a las inundaciones” (CCS, 2017).

El objetivo de dicha guía era aumentar la comprensión de las consecuencias de las inundaciones y fomentar el compromiso de los ciudadanos en la reducción del riesgo, centrándose en la disminución de la vulnerabilidad de personas y bienes y en el aumento de la resiliencia de edificios expuestos.

Hasta el momento, el enfoque de los planes de gestión se centra en inundaciones fluviales y costeras que, en efecto, pueden ocasionar graves consecuencias para aquellas zonas urbanas que sean alcanzadas por la extensión de la inundación. Sin embargo, todas las ciudades se ven expuestas a inundaciones de origen pluvial, cuando, de forma más o menos frecuente, la lluvia supera la capacidad de diseño de sus redes de drenaje. Es cierto que las consecuencias de inundaciones pluviales en zonas urbanas no suelen comprometer la vida de las personas, pero merece la pena atender a ellas en cuanto a las pérdidas económicas que estas conllevan. Además, las previsiones indican que, a consecuencia del cambio climático, se van a producir lluvias más intensas, siendo las zonas urbanas especialmente perjudicadas (Arnbjerg-Nielsen *et al.*, 2013).

Estimación de daños por inundación mediante el uso de curvas calado-daño

Existen diferentes enfoques para el desarrollo de modelos de evaluación de daños ocasionados por las inundaciones. Sin embargo, el propósito en común de todos ellos es poder analizar la eficiencia de medidas de mitigación de los daños ocasionados por las inundaciones. Los análisis coste-beneficio se llevan a cabo para comparar los costes de inacción frente a los daños evitados bajo ciertos escenarios de adaptación. Los modelos permiten estimar tanto los daños que se producirían bajo tales escenarios de adaptación como los daños evitados asociados.

Una diferencia esencial entre los diferentes modelos es la escala de trabajo; mientras algunos se basan en usos del suelo agregados, otros lo hacen en objetos (por ejemplo, edificios o parcelas). Los segundos presentan mayor complejidad, siendo una escala de trabajo de detalle, mientras que los primeros son más sencillos y dan resultados más rápidos para áreas de mayor extensión. Los modelos de escala detallada presentan la ventaja de determinar con exactitud la densidad de edificios en zonas urbanas, no siendo así en modelos basados en usos del suelo. Los modelos basados en Sistemas de Información Geográfica (SIG) permiten tener una idea de la distribución espacial de daños en la zona estudiada.

Las conocidas como curvas calado-daño, también denominadas curvas de vulnerabilidad, son la base esencial de muchos de estos modelos. Se trata de funciones matemáticas que relacionan la altura del agua (calado) de la inundación en una propiedad o uso del suelo, dependiendo de la escala de trabajo, con el daño producido.

Los modelos son muy sensibles a la selección de estas curvas, dadas las singularidades que presentan. Se requiere del ajuste del valor de los bienes a situaciones económicas regionales y a las características de las propiedades. Además, el daño real sobre una propiedad no se debe solo al calado de inundación, sino también a factores como: la época del año de ocurrencia de la inundación, su duración, la velocidad del agua, los escombros arrastrados o el tiempo de alerta previo a la inundación. Por lo tanto, es clara la incertidumbre intrínseca de los enfoques basados en curvas calado-daño, así como la influencia de otros factores más allá del calado en la causa de los daños por inundaciones. Aun así, la adopción del nivel de agua de la inundación como factor fundamental que ocasiona el daño es una práctica muy extendida.

Estas curvas se pueden presentar en forma relativa o absoluta, considerando porcentajes de daño sobre el total de la propiedad o daño expresado en términos monetarios respectivamente. Mientras que las primeras se pueden transferir más fácilmente en espacio y tiempo, ya que no dependen del valor de mercado de los bienes, las curvas de daños absolutos requieren de una recalibración periódica para tener en cuenta la depreciación e inflación de los precios. A su vez, las curvas pueden clasificarse según su procedimiento de construcción; concretamente en analíticas, empíricas o sintéticas, e incluso combinaciones de los anteriores tipos. Las analíticas se basan en análisis de laboratorio, resultado de la supervisión de los efectos de variables como el calado de agua, velocidad del flujo o duración de la inundación. Las curvas empíricas se construyen a partir de la recolección de datos reales de daños a propiedades a partir de campañas de encuestas. Y las sintéticas son el resultado de un estudio teórico para un tipo de propiedad estándar, bajo el supuesto de ser representativa de la zona de estudio. Este último grupo es utilizado, principalmente, cuando no se disponen de datos reales de daños por inundación.

Estas curvas se construyen para diferentes tipos de propiedades o usos del suelo, dependiendo de la escala de trabajo utilizada, y suelen representar, por un lado, el daño en el continente y, por otro, en el contenido. Los daños al continente se refieren al propio edificio y a los componentes de este que "no se llevan cuando se realiza una mudanza", como pueden ser las puertas, la caldera, el parque o la moqueta, etc. En cambio los daños a contenidos (mobiliario y enseres, existencias, etc.) se dan en aquellos objetos que se trasladarían si una persona se mudara de la vivienda en cuestión (McBean *et al.*, 1988).

En España se encuentran pocas propuestas de curvas calado-daño, siendo la mayoría específicas para regiones concretas y solo una propuesta para cobertura nacional (Figura 1).

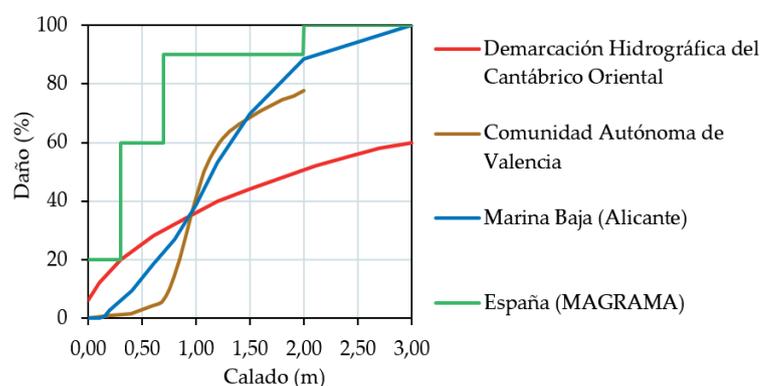


Figura 1. Curvas calado-daño para diferentes regiones de España.

El proyecto RESCCUE y Barcelona como caso de estudio español

El proyecto H2020 RESCCUE (<http://www.resccue.eu/>) (**Resilience to cope with climate change in urban areas – a multisectorial approach focusing on water**) tiene como objetivo principal el desarrollo de metodologías y herramientas para la evaluación y gestión de la resiliencia urbana ante impactos climáticos. Se contemplan tres casos de estudio, donde se aplican las diferentes herramientas desarrolladas, Barcelona, Bristol y Lisboa, con características y capacidades de respuesta diferentes de acuerdo con escenarios de cambio climático.

El proyecto RESCCUE está coordinado por la empresa AQUATEC (SUEZ Advanced Solutions) y en Cetaqua, Centro Tecnológico del Agua (<https://www.cetaqua.com/home>), tenemos un papel relevante, siendo la segunda institución con mayor contribución. El proyecto cuenta con 18 socios, entre los cuales destaca la presencia de los tres ayuntamientos de los casos de estudio, de universidades y empresas públicas y privadas de los sectores del ciclo urbano del agua y de la energía. UN-Habitat también participa como socio del proyecto con el propósito 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 Cetaqua, entre otras tareas, llevamos a cabo los estudios de evaluación de riesgos derivados de posibles impactos climáticos en la ciudad de Barcelona. Uno de los análisis más exhaustivos es el de riesgos derivados de las inundacio-

nes pluviales, cada vez más presentes en la ciudad de Barcelona. A modo de ejemplo, se presentan algunos de los estudios realizados:

- Elaboración de mapas de riesgos para la estabilidad de peatones y de vehículos en base a umbrales de estabilidad determinados experimentalmente en el Institut Flumen (Universitat Politècnica de Catalunya) (<https://www.flumen.upc.edu/en>).
- Análisis de la estabilidad de los contenedores de basura y reciclaje de la ciudad durante episodios de inundación (Martínez-Gomariz *et al.*, 2020).
- Estimación de daños ocasionados a vehículos (Martínez-Gomariz, Gómez, *et al.*, 2019).
- Desarrollo de un modelo de estimación de daños directos a propiedades (Martínez-Gomariz, Guerrero-Hidalga, *et al.*, 2019).

Daños causados por inundaciones en municipios españoles y el caso particular de Barcelona

El registro de los datos históricos de indemnizaciones satisfechas por el CCS es muy valioso para la gestión de riesgos catastróficos en general y de inundación en particular. El análisis del total de indemnizaciones históricas por daños a edificios a nivel nacional, permite, entre otras cosas, ordenar los municipios españoles de más a menos dañados. En la Figura 3 se muestran los 20 municipios cuyos edificios han tenido más daños indemnizados por inundaciones en España en el período de 1995 a 2019.

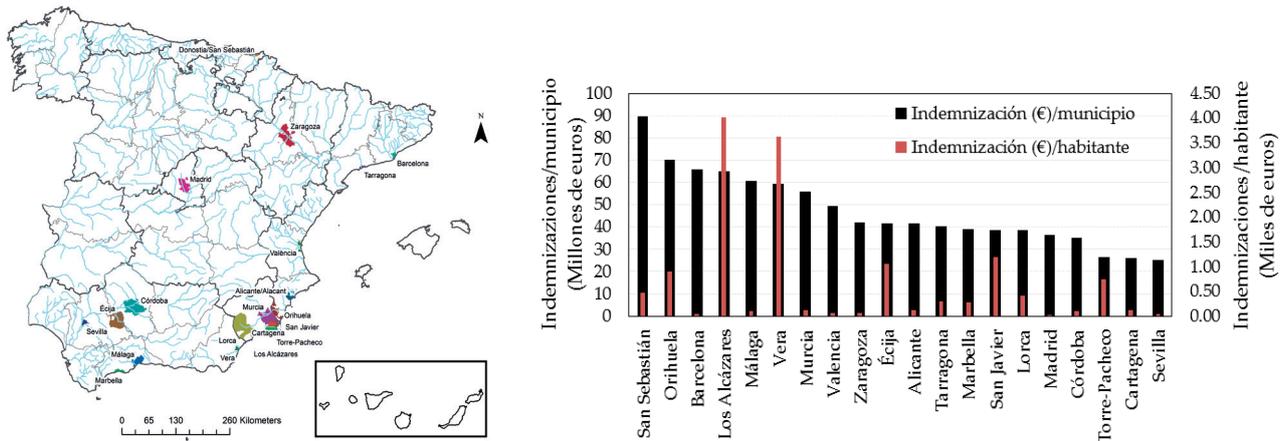


Figura 3. Los 20 municipios españoles cuyos edificios con más daños indemnizados a causa de las inundaciones (pluviales y fluviales) en el periodo 1995-2019. Los valores corresponden a indemnizaciones pagadas y provisionadas a 5 de febrero de 2020 por el CCS, con precios actualizados a 2019.

Las inundaciones que supusieron tales indemnizaciones pueden tener origen pluvial o fluvial indistintamente, ya que la clasificación del CCS no distingue entre ellas. La representación geográfica indica claramente la concentración de municipios especialmente vulnerables en la zona mediterránea. San Sebastián, con unos 75 millones de euros indemnizados en el periodo indicado, es el municipio español más afectado en cuanto a impactos económicos ocasionados por las inundaciones. Sin embargo, atendiendo a las indemnizaciones promedio por habitante, se podría decir que Los Alcázares sería el municipio más vulnerable a las inundaciones.

Solo en la ciudad de Barcelona el total de indemnizaciones pagadas y provisionadas a 31 de julio de 2019 por el CCS, desde el año 1996 hasta el 2018, han supuesto un total de 43 millones de euros, para industrias, oficinas, viviendas y

comunidades de propietarios, vehículos y obras civiles, de acuerdo a la clasificación adoptada por el CCS (Figura 4). En el año 2018 se produjeron cuatro eventos de lluvia de gran intensidad que causaron cuantiosos daños en la ciudad de Barcelona (Figura 4 y Figura 5), marcando ese año como el tercero en el periodo 1996-2018 con mayores impactos económicos en términos de indemnizaciones. Tan solo los años 1999 y 2002 lo superaron, aunque desde entonces, diferentes actuaciones en el drenaje de la ciudad hacían suponer que la situación había mejorado notablemente.

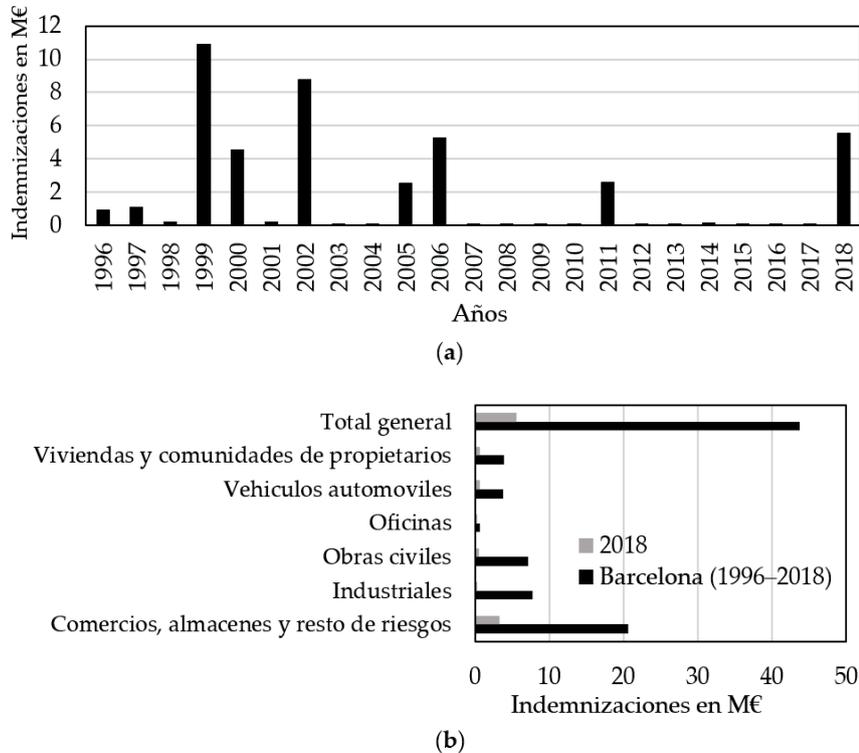


Figura 4. Indemnizaciones pagadas y provisionadas a 31 de julio de 2019 por el CCS por daños debidos a inundaciones pluviales en la ciudad de Barcelona; a) Totales anuales históricos (periodo 1996 a 2018) y b) Totales históricos (23 años) agrupados por tipos de propiedades. Precios actualizados a 2018.

Analizando únicamente las indemnizaciones relacionadas con edificios (excluyendo obras civiles y vehículos), el año 2018 supuso prácticamente un 75 % del total indemnizado concentrado en comercios, almacenes y restos de riesgos. Este patrón no es aislado y para todos los eventos de inundación importantes de los años analizados se destinó más del 50 % del total de las indemnizaciones a esta agrupación. Se confirma, por tanto, que los comercios son el tipo de propiedad más vulnerable a las inundaciones urbanas de origen pluvial.



Figura 5. Consecuencias de las inundaciones pluviales en la ciudad de Barcelona ocurridas a) el 9 de octubre, y b) el 15 de noviembre de 2018.

Fuentes: a) <https://www.elperiodico.com> y b) <https://www.telecinco.es>.

Con estos datos, parece destacable la relevancia de las inundaciones urbanas de origen pluvial y queda de manifiesto la necesidad de herramientas que ayuden a estimar los daños que estas pueden ocasionar. Barcelona, claramente afectada únicamente por inundaciones de origen pluvial, se encuentra en la tercera posición del ranking de municipios españoles cuyos edificios han sido más dañados por inundaciones, tanto de origen fluvial como pluvial.

¿Cómo se estiman los daños por inundación en Barcelona?

Los impactos económicos derivados de las inundaciones pluviales ahora pueden ser estimados para la ciudad de Barcelona gracias a los desarrollos del proyecto RESCCUE. Se ha elaborado un modelo de evaluación de daños con la colaboración de un perito de seguros con gran experiencia en inundaciones. La construcción de este modelo recoge el conocimiento de una vasta experiencia en estimación de daños por este peligro.

El papel del perito de seguros ante inundaciones pluviales

El CCS cubre los llamados riesgos extraordinarios, entre los cuales se contemplan peligros naturales como las inundaciones de origen pluvial, cuando no se asumen expresamente por la aseguradora original en la póliza del asegurado. Su cobertura contempla pérdidas derivadas de daños materiales directos causados a los bienes, pérdidas por interrupción de los negocios, gastos y pérdidas derivados de la inhabilitación de las viviendas y daños a las personas.

Cuando un riesgo extraordinario sucede, como pueden ser las inundaciones pluviales ocurridas en Barcelona el 9 de octubre y el 15 de noviembre de 2018 (Figura 5), el CCS envía a uno o más peritos expertos en la evaluación del episodio para llevar a cabo una primera estimación del alcance del daño producido. De acuerdo con conversaciones con el CCS, esas estimaciones, fruto de la experiencia y del conocimiento de los efectos de las inundaciones por parte de estos profesionales, son ciertamente fiables. Por lo tanto, el desarrollo de herramientas y metodologías que recojan el conocimiento de estos profesionales puede ser de gran valor para la evaluación de daños por inundación en España. En este mismo sentido, ya el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos (USACE) se basó en la opinión del experto para desarrollar las curvas calado-daño para los diferentes estados del país (Gulf Engineers & Consultants (GEC), 2006).

Transferencia de agua de las calles al interior de la propiedad

Si bien las curvas de daños por inundación son un elemento esencial a la hora de estimar los daños producidos, se requiere conocer (o estimar) el calado que se puede haber dentro de una propiedad. En muchas ocasiones se aplican directamente los calados obtenidos por modelos hidrodinámicos en los alrededores (calles) de una propiedad, pero en el caso de una inundación de origen pluvial se prevé que los calados en el interior de la propiedad puedan llegar a ser notablemente inferiores. En cambio, el tiempo de residencia del agua, en caso de producirse una inundación de origen fluvial, se prevé suficiente como para que los niveles, en la calle y en el interior de la propiedad, se igualen. Este hecho es el que se pretende definir mediante el modelo conceptual desarrollado (Figura 6) para llegar a estimar el calado interior que deba considerarse a la hora de aplicar las curvas de daños.

Un elemento clave, que limita el calado que está en contacto con el acceso a la propiedad (y_0 , Figura 6), son los desniveles a la entrada, distintos para cada uso. Se trata, en realidad, de un elemento protector para las propiedades, en mayor medida cuanto mayor sea ese desnivel. En los locales comerciales, en general, no hay escalón en la entrada o es muy bajo (Figura 7) para facilitar el acceso de los clientes. Un trabajo de campo en la ciudad de Barcelona ha permitido obtener los valores promedio de escalones (desniveles) que se pueden asociar a los diferentes tipos de propiedades consideradas.

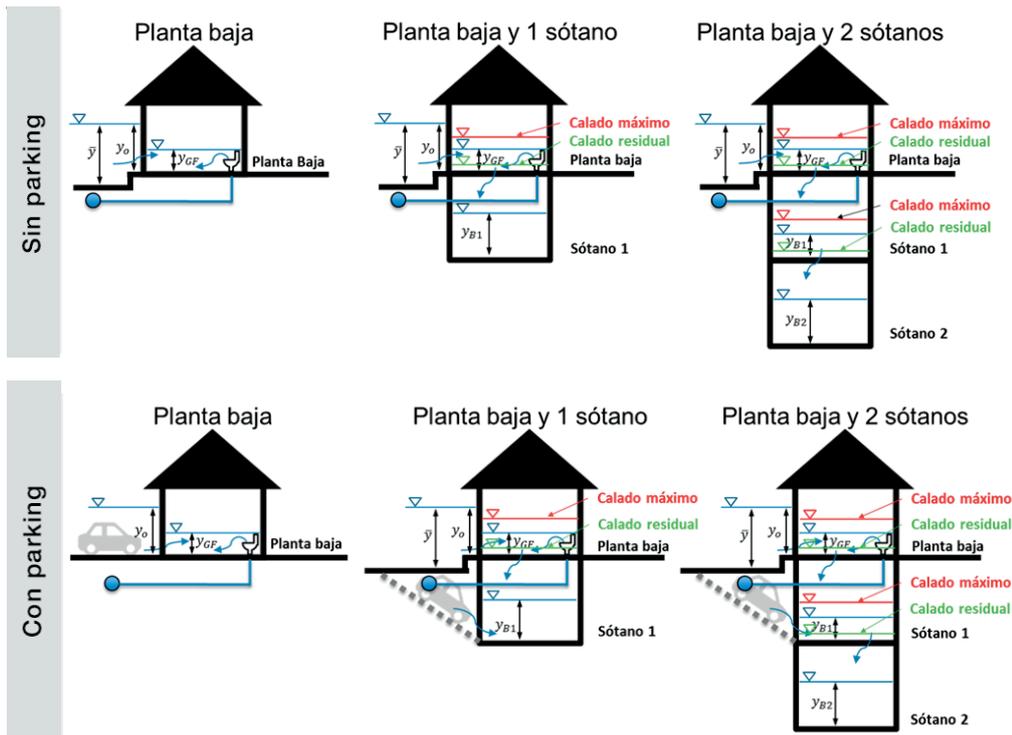


Figura 6. Modelo conceptual de transferencia del nivel de agua de las calles al interior de la propiedad.

De esta manera, el calado de inundación en una calle, normalmente proporcionado por un modelo hidrodinámico que tenga en cuenta la escorrentía y los desbordamientos de la red en superficie, se ve “reducido” por ese desnivel. El calado resultante de esa reducción es el que dará lugar a la entrada del agua en la propiedad.



Figura 7. Puertas de acceso y escalones, prácticamente inexistentes, de dos comercios de la ciudad de Barcelona.

El calado que se dé en el interior de la propiedad (y_{GF} Figura 6) se prevé que sea inferior al que hay en la calle, en mayor o menor medida dependiendo del número y tipo de cerramientos. Esta suposición se basa en que cuando se trata de inundaciones pluviales el tiempo de residencia del agua en las calles es de muy pocas horas o, incluso, de minutos (Chen *et al.*, 2010).

De acuerdo con este enfoque, se propone un modelo de transferencia del calado en la calle al calado en el interior de la propiedad en zonas urbanas, que se esquematiza en la Figura 6. En este se presentan diferentes configuraciones de edificios: 1) solo planta baja, 2) con planta baja y un sótano y 3) con planta baja y dos sótanos. Además, se plantean estas tres configuraciones también con parking, puesto que el hecho de que exista parking facilita una mayor entrada de agua. Con solo planta baja, el calado puede ascender hasta el nivel de agua en la calle; sin embargo, se supone que la presencia de sótanos hace que no se supere un cierto calado máximo, porque el agua se mueve hasta puntos más bajos como el/los sótano/s. Se acepta también un calado residual, que quedará en la planta baja una vez el evento termine, siendo un agua acumulada que no incrementará el calado en plantas inferiores. Las curvas de daño se aplican, por tanto, con los calados interiores a la propiedad (y_{GF} , y_{B1} , y_{B2} , Figura 6), de acuerdo a este planteamiento.

Permeabilidad de las propiedades

Los cerramientos (puertas y ventanas) son los lugares por los que, ante una inundación, se transfiere el agua desde las calles hacia el interior de la propiedad. Estos cerramientos, que se prevé que en una situación de inundación no se encuentren abiertos, pueden tener mayor o menor estanqueidad, pero parece claro que el calado en el interior de las propiedades será inferior al del exterior (Figura 8).



Figura 8. Marcas de los calados alcanzados por el agua tras un evento de inundación, en el interior y exterior de la propiedad.

Como ya se comentó anteriormente, el tiempo de residencia del agua es un factor clave en la relación entre el calado exterior e interior a la propiedad, pero para inundaciones pluviales en zonas urbanas este tiempo no suele ser suficiente para que ambos niveles de agua se igualen. Por lo tanto, se propone un coeficiente de permeabilidad que relacione ambos calados (y_{GF}/y_o), el esperable en el interior de la propiedad (y_{GF}) y el que se da en las calles (y_o).

Al no haber datos disponibles sobre alturas de inundación en las calles donde se encuentran los edificios de los que se conoce la altura de inundación interior, el coeficiente de permeabilidad se ha estimado de acuerdo a la opinión del perito de seguros experto en tasación de daños causados por inundaciones. Tales coeficientes de permeabilidad han sido estimados inicialmente para diferentes tipos de cerramientos, así como para desagües y sifones. Un local con solo cerramientos de vidrio (puertas correderas, por ejemplo), sin carpintería de aluminio, permitiría la entrada de agua con más facilidad que otro local con cerramientos de carpintería. Se espera, además, que estos coeficientes puedan variar según el calado en las calles, ya que a mayor calado se supone un mayor tiempo de residencia del agua. Por eso se presentan como funciones dependientes del calado en la calle y del tipo de cerramiento o desagüe. De esta forma, la agregación de curvas de cerramientos y sanitarios ha permitido establecer una curva de coeficientes de estanqueidad para los diferentes tipos de propiedades consideradas en este estudio (Figura 9).

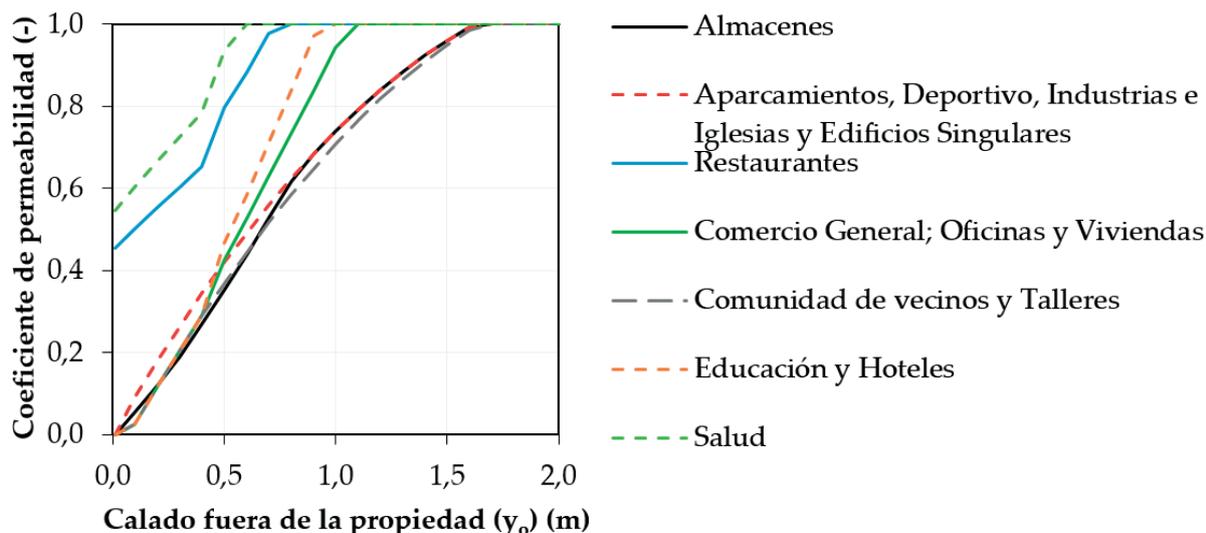


Figura 9. Curvas de coeficientes de estanqueidad para a) tipos de cerramiento y b) tipos de propiedades.

Superficies potencialmente inundables

Por otro lado, el modelo conceptual presentado tiene sentido para propiedades de un área en planta suficientemente reducida, porque si consideramos superficies de gran extensión, se prevé que el agua que entra en la propiedad no ocupe la totalidad de la superficie. En este sentido, se puede distinguir entre superficie total y superficie potencialmente inundable. Ambas coinciden cuando se trata de comercios convencionales (Figura 10a), pero distarán bastante cuando la calle inundada afecte a un hospital con una gran superficie (Figura 10b) o, incluso, a un centro comercial, donde el agua se espera que ocupe una pequeña parte. A partir de la experiencia en peritación de propiedades inundadas, se han propuesto unas funciones para establecer la superficie potencialmente inundable, en función del calado en la calle (y_0) y de la superficie total (Figura 11).



Figura 10. Accesos a propiedades con a) pequeñas superficies (pequeños comercios) y b) grandes superficies (hospital).

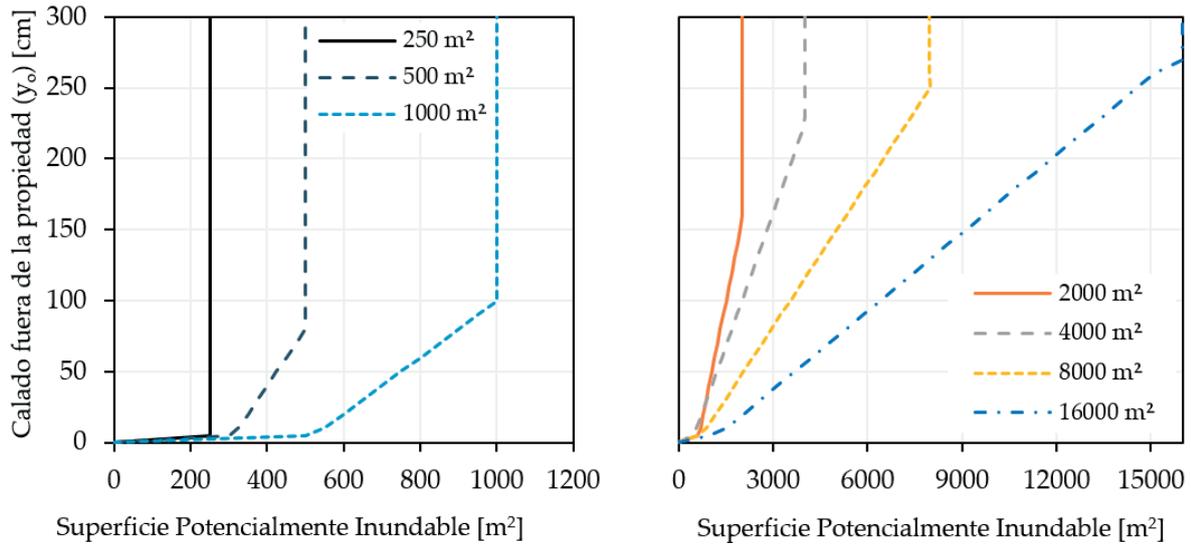


Figura 11. Superficies potencialmente inundables.

Desarrollo de curvas de daños para Barcelona

Como último elemento, aunque esencial, se han desarrollado curvas calado-daño específicas para la ciudad de Barcelona. Para construirlas se ha llevado a cabo un exhaustivo análisis de 378 registros de propiedades afectadas por inundaciones a nivel nacional para los que se conocía el valor pericial del daño, la compensación pagada por el CCS y el calado en el interior de la propiedad que produjo tal daño. Las inundaciones consideradas sucedieron durante el periodo de 2012 a 2018 y afectaron a ciudades españolas de diferentes niveles económicos, ubicadas en las zonas mediterránea y cantábrica. Estos registros recogen daños ocasionados por inundaciones pluviales, en la zona mediterránea, y fluviales, en la zona cantábrica. Las primeras responden a daños ocasionados para calados medios y bajos (hasta 50 cm en planta baja), mientras que las segundas ocasionaron calados altos (hasta 100 cm) en el interior de las propiedades.

El resultado final de las curvas calado-daño para Barcelona (Figura 12) se ha obtenido tras la combinación de ajustes lineales de acuerdo a los datos disponibles, pero aportando la opinión del perito de seguros (curvas semiempíricas) en aquellos tramos de las funciones donde había escasez de datos o la correlación era pobre (Martínez-Gomariz *et al.*, 2020).

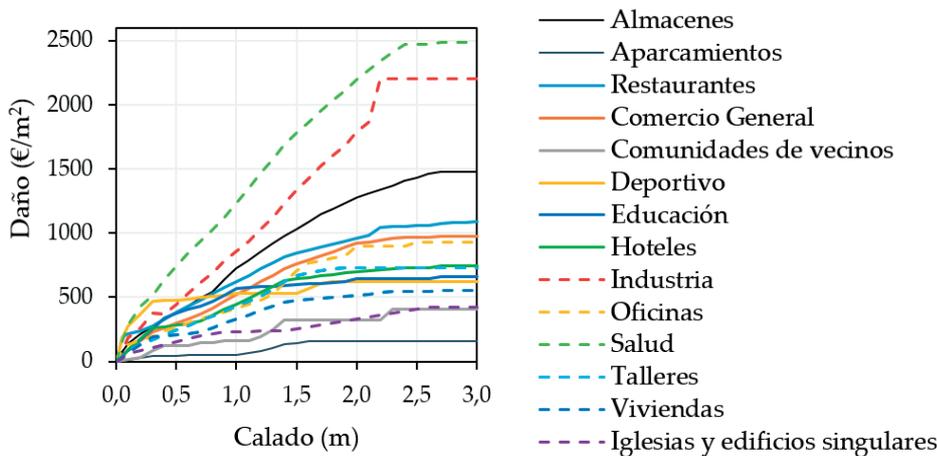


Figura 12. Curvas semiempíricas calado-daño para la ciudad de Barcelona.

Transferencia regional y temporal de las curvas de daños

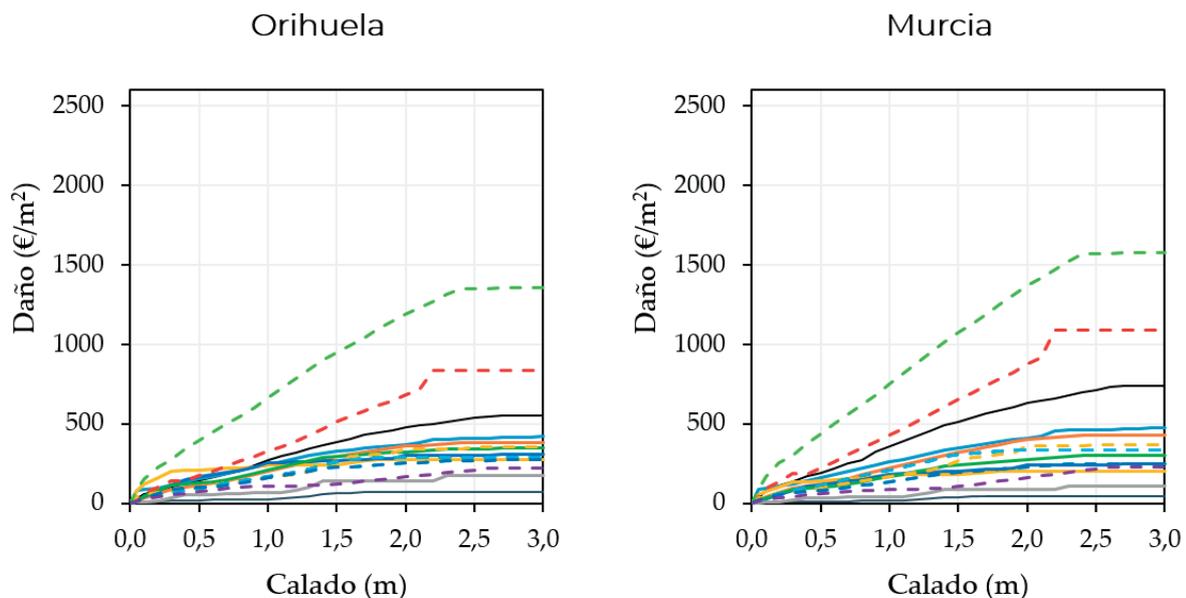
Partiendo de las curvas semiempíricas calado-daño construidas para la ciudad de Barcelona en el contexto del proyecto RESCCUE, se ha dado un paso más y **se ha desarrollado una metodología para transferir estas curvas a otros municipios españoles. Esto permite el uso de curvas calado-daño para evaluaciones de daño por inundación a nivel nacional, mediante el uso de curvas obtenidas bajo una metodología común.**

Para la transferencia regional de las curvas de Barcelona a una gran parte de los 8.131 municipios españoles se han considerado factores demográficos, económicos y geográficos, puesto que estos influyen en la variabilidad de precios para bienes y servicios en el país (IBI Group, 2015). Para ello se han obtenido índices de ajuste regional, que indican la proporcionalidad de variación de precios para una curva de Barcelona con respecto a otro municipio español.

Los diferentes tipos de propiedades considerados se han agrupado en tres sectores generales: comercial, industrial y residencial y otros. Se ha considerado que los tres componentes de las propiedades (edificio, mobiliario y ajuar e existencias) presentan variaciones de precio diferentes. Por ejemplo, se supone que los precios de los edificios para uso de almacén varían como un edificio comercial, pero en cambio, los otros componentes, mobiliario y ajuar e inventario, se aproximan a la variabilidad de precios del sector industrial. Una vez obtenidos los índices para cada componente se adaptan las curvas de los componentes de Barcelona para obtener así las curvas de cada componente del municipio para el que se quieren obtener sus curvas calado-daño. La agregación de las curvas de los componentes da lugar a la curva calado-daño del municipio para los tipos de propiedades consideradas. En la Figura 12 se muestran las curvas calado-daño construidas para algunos de los municipios más dañados por inundaciones en España en los últimos años.

Así mismo, la transferencia temporal de las curvas es útil para evaluar potenciales daños por inundación en un futuro. Sobre las curvas calado-daño construidas para un municipio se pueden aplicar índices de temporalidad construidos a partir de los escenarios económicos proyectados por OCDE hasta 2060 (OECD, 2020).

Los detalles de este estudio pueden obtenerse en el artículo "Depth Damage Curves for Spanish Urban Areas" (Martínez-Gomariz *et al.*, 2020) publicado en la revista [Sustainability](#).



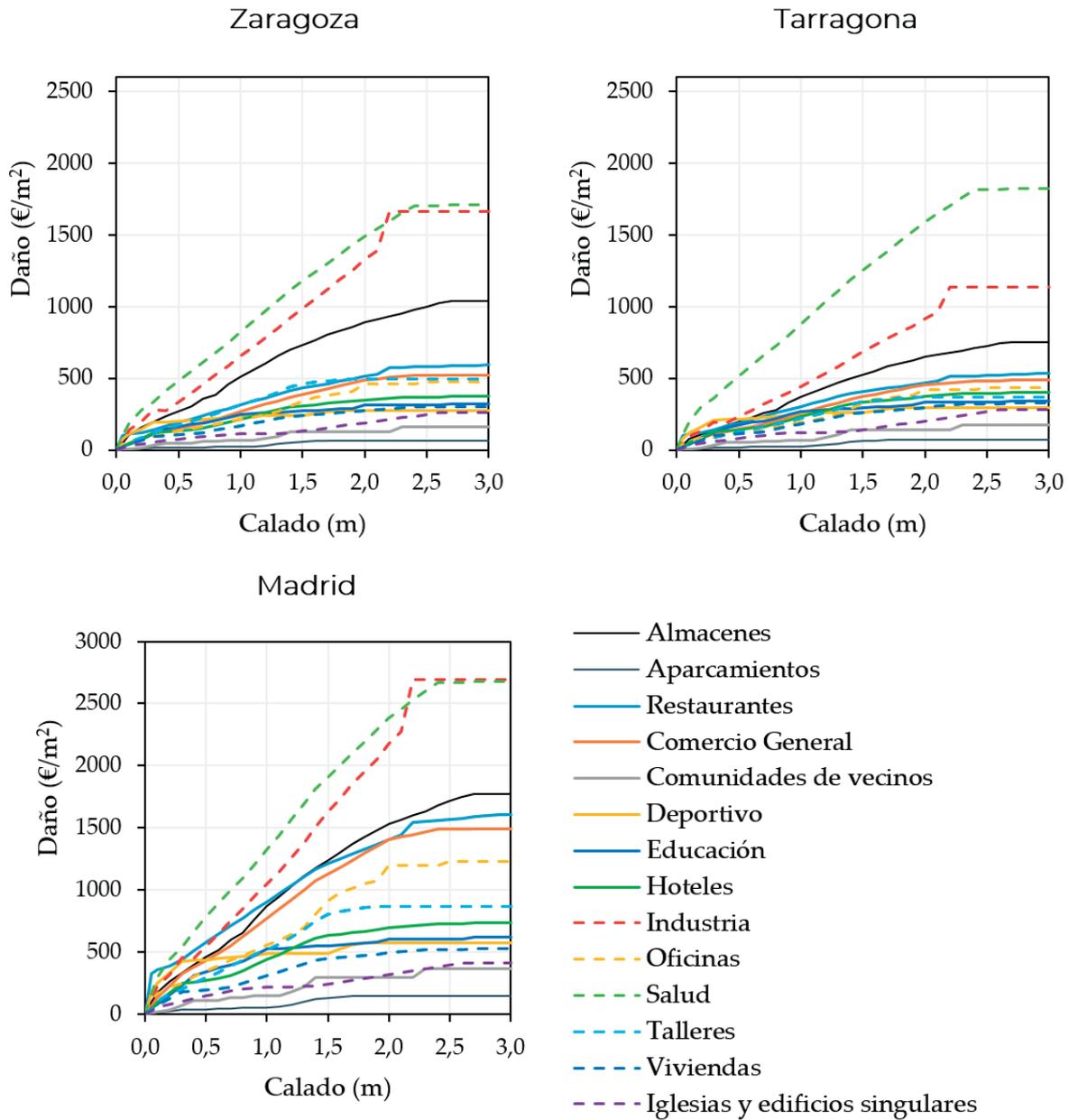


Figura 13. Curvas calado-daño para algunas ciudades españolas.

Conclusiones

El uso de curvas calado-daño está globalmente aceptado, incluso reconociendo la importancia de factores no considerados como la velocidad del agua o el tiempo de residencia de la inundación. Una gran cantidad de modelos de daños se basan en el uso de relaciones calado-daño. Una de las mayores limitaciones de estas curvas hasta el momento es su condición regional, por la que solo tienen validez para el lugar para el que se han construido, impidiendo así un correcto uso en otras regiones. Además, la necesidad de una continua actualización de precios con el tiempo puede también ser considerado como un aspecto limitante cuando se trata de curvas absolutas (€). Sin embargo, cuando se trata de curvas calado-daño relativas (%) existe un mayor consenso en su utilidad, pues su forma permanece inalterada con el tiempo. La forma de estas curvas depende, en especial, de los estilos y tipologías de construcciones adoptadas por las distintas regiones, las cuales podrían llegar a considerarse bastante uniformes hasta un nivel nacional.

Barcelona es uno de los casos de estudio del proyecto europeo RESCCUE, ciudad para la cual se ha llevado a cabo un detallado análisis de su resiliencia frente a impactos climáticos. De entre esos posibles impactos, se ha prestado una especial atención a las inundaciones pluviales, que se producen cada año de forma más recurrente. De entre los diferentes riesgos estudiados, se ha llevado a cabo una evaluación de potenciales daños ocasionados a propiedades. Para ello se ha desarrollado un modelo detallado que recoge la experiencia adquirida por parte de un perito de seguros experto en inundaciones. A causa de la inexistencia de curvas calado-daño para Barcelona, se han construido curvas específicas para esta ciudad a partir de registros de inundaciones reales y aportando el conocimiento adquirido durante tareas periciales. Dichas curvas contemplan distintos usos de propiedades característicos de áreas altamente urbanizadas, como es el caso de Barcelona.

Además, para extender el desarrollo de curvas calado-daño a los diferentes municipios españoles, se propone una metodología a partir de índices regionales basados en varios indicadores demográficos, económicos y geográficos. Para poder transferir las curvas a años venideros, se ha propuesto un índice temporal que permite llevar las curvas hasta el año 2060 de acuerdo a las proyecciones económicas que la OCDE ha estimado.

Tanto el modelo conceptual como las curvas desarrolladas son herramientas que pueden ser aplicadas a nivel nacional y, por tanto, los resultados de la evaluación de daños pueden ser comparables entre diferentes municipios de España. Este trabajo contribuye a la mejora de los estudios coste-beneficio, cuya aplicación es especialmente relevante para inundaciones pluviales, aunque también es aplicable a inundaciones fluviales. Futuras revisiones de los Planes de Gestión del Riesgo de Inundaciones (Directiva 2007/60/CE y RD 903/2010) van a prestar atención también a las inundaciones pluviales y sus riesgos derivados, ya que actualmente existen herramientas para llevar a cabo tales estudios.

El sector asegurador también puede verse beneficiado por un modelo de evaluación de daños que le permitiría estimar el orden de magnitud de las indemnizaciones a pagar inmediatamente después de una inundación, además de para realizar un seguimiento de calidad y fraude.

Bibliografía

- Arnbjerg-Nielsen, K., Willems, P., Olsson, J., Beecham, S., Pathirana, A., Bülow Gregersen, I., Madsen, H., & Nguyen, V.-T.-V. (2013). Impacts of climate change on rainfall extremes and urban drainage systems: a review. *Water Science and Technology*, 68(1), 16–28. <https://doi.org/10.2166/wst.2013.251>
- Chen, A. S., Djordjević, S., Leandro, J., & Savić, D. A. (2010). An analysis of the combined consequences of pluvial and fluvial flooding. *Water Science and Technology*, 62(7), 1491–1498. <https://doi.org/10.2166/wst.2010.486>
- Consortio de Compensación de Seguros (CCS) (2017). Guía para la reducción de la vulnerabilidad de los edificios frente a las inundaciones. http://www.consorseguros.es/web/documents/10184/48069/guia_inundaciones_completa_22jun.pdf/480edc31-446b-40a5-af5b-2c37daf20a35
- European Environment Agency. (2019). Economic losses from climate-related extremes in Europe. <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/direct-losses-from-weather-disasters-3/assessment-2>
- Gulf Engineers & Consultants (GEC). (2006). Depth-Damage relationships for structures, contents, and vehicles and content-to-structure value ratios (CSVR) in support of the Donaldsonville to the Gulf, Luisiana, Feasibility study. <http://www.mvn.usace.army.mil/Portals/56/docs/PD/Donaldsv-Gulf.pdf>
- IBI Group. (2015). Provincial Flood Damage Assessment Study. Prepared for Government of Alberta. (Issue February). <https://open.alberta.ca/dataset/807b9710-0867-453e-8fa7-50c239bcd7d0/resource/f2d0a88c-b04b-4a39-af76-0aa8cd1e880b/download/pfdas-alberta-main.pdf>
- IDEA (Improving Damage assessments to Enhance cost-benefit Analyses) project. (2014). Earthquake of Lorca in 2011. <http://www.ideaproject.polimi.it/?portfolio=floods-in-vall-daran-and-pyrenees>
- Martínez-Gomariz, E., Forero-Ortiz, E., Guerrero-Hidalga, M., Castán, S., & Gómez, M. (2020). Flood Depth-Damage Curves for Spanish Urban Areas. *Sustainability*, 12(7), 2666. <https://doi.org/10.3390/su12072666>
- Martínez-Gomariz, E., Gómez, M., Russo, B., Sánchez, P., & Montes, J.-A. (2019). Methodology for the damage assessment of vehicles exposed to flooding in urban areas. *Journal of Flood Risk Management*, 12(3), e12475. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12475>
- Martínez-Gomariz, E., Guerrero-Hidalga, M., Russo, B., Yubero, D., Gómez, M., & Castán, S. (2019). Desarrollo y validación de curvas de daño y estanqueidad para la estimación de daños por inundaciones en zonas urbanas españolas. VI Jornadas de Ingeniería Del Agua JIA2019, 4.
- Martínez-Gomariz, E., Russo, B., Gómez, M., & Plumed, A. (2020). An approach to the modelling of stability of waste containers during urban flooding. *Journal of Flood Risk Management*, 13(S1), jfr3.12558. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12558>
- McBean, E. A., Gorrie, J., Fortin, M., Ding, J., & Moulton, R. (1988). Flood Depth—Damage Curves By Interview Survey. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 114(6), 613–634. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9496\(1988\)114:6\(613\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9496(1988)114:6(613))

OECD. (2020). "Long-term baseline projections, No. 103", OECD. Economic Outlook: Statistics and Projections (Database). <https://doi.org/10.1787/68465614-en>

UN. (2018). World Urbanization Prospects: The 2018 Revision.
<https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2018-Report.pdf>

Velasco, M., Cabello, À., & Russo, B. (2016). Flood damage assessment in urban areas. Application to the Raval district of Barcelona using synthetic depth damage curves. *Urban Water Journal*, 13(4), 426–440.
<https://doi.org/10.1080/1573062X.2014.994005>