

Desarrollo y aplicación de curvas de daño y estanqueidad para la estimación del impacto económico de las inundaciones en zonas urbanas españolas

Development and application of depth damage and sealing coefficient curves to estimate urban flooding economic impact on Spanish urban areas

Martínez-Gomariz, E.^{a,b}, Guerrero-Hidalga, M.^a, Russo, B.^{c,d}, Yubero D.^c, Gómez, M.^{a,b}, Castán, S.^e

^aCentro Tecnológico del agua (CETAqua). Carretera d'Esplugues, 75, 08940, Cornellà de Llobregat, Barcelona, España.
E-mail: ^{a1}eduardo.martinez@cetaqua.com

^bInstitut FLUMEN, Universitat Politècnica de Catalunya. Calle del Gran Capità, 6, 08034, Barcelona, España
E-mail: ^{b1}eduardo.martinez-gomariz@upc.edu, ^{b2}manuel.gomez@upc.edu

^cAQUATEC (SUEZ Advanced Solutions). Paseo de la Zona Franca, 46-48, 08038, Barcelona, España.
E-mail: ^{c1}brusso@aquatec.es, ^{c2}dyuberop@aquatec.es

^dGrupo 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. E-mail: ^{d1}brusso@unizar.es

^eAGPERICIAL. Calle de Vista Alegre, 6, 08940, Cornellà de Llobregat, Barcelona, España.
E-mail: ^{e1}ecastan@agpericial.es.

Recibido: 26/07/2019

Aceptado: 17/10/2019

Publicado: 31/10/2019

Citar como: Martínez-Gomariz, E., Guerrero-Hidalga, M., Russo, B., Yubero D., Gómez, M., Castán, S. (2019). Development and application of depth damage and sealing coefficient curves to estimate urban flooding economic impact on Spanish urban areas. *Ingeniería del agua*, 23(4), 229-245. <https://doi.org/10.4995/la.2019.12137>

RESUMEN

Para la estimación de daños por inundaciones pluviales en zonas urbanas, un elemento ampliamente utilizado son las llamadas curvas de daños, que no son más que la relación de los daños producidos en un tipo de propiedad para un cierto nivel de agua. En este estudio se presenta el desarrollo llevado a cabo para obtener curvas de daños asociadas a 14 tipos de propiedades para la ciudad de Barcelona. Se propone también un modelo conceptual para transferir el calado en las calles al calado en el interior de las propiedades. Las curvas desarrolladas, han sido trasladadas a la ciudad de Badalona y se han estimado los daños de dos eventos reales de inundación para ambas ciudades. Los resultados obtenidos han sido aceptables, de acuerdo con la validación realizada a partir de los datos de indemnizaciones facilitados por el consorcio de compensación de seguros (CCS).

Palabras clave | inundaciones pluviales; zonas urbanas; curvas de daños; propiedades; indemnizaciones.

ABSTRACT

In order to estimate pluvial flood damages within urban areas, a widely element employed are the well-known depth damage curves, which relate water depth to a certain level of damage. This study presents the development carried out in order to obtain depth damage curves tailored for Barcelona city and related to 14 types of properties. Moreover, a conceptual model to transfer outside-of-properties water depths into inside-of-properties water depths. The developed curves, have also been transferred to Badalona municipality and damages for actual flood events have been estimated for both cities. The obtained outcomes have been considered accurate enough, according to the conducted validation process based on the comparison with actual flood claims provided by the Spanish re-insurance company Consorcio de Compensación de Seguros (CCS).

Key words | pluvial floods; urban areas; depth damage curves; properties; claims.

INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

Los riesgos 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 (riesgos 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 para lo cual se proponen metodologías que, aun requiriendo todavía mayor evolución, presentan ya un gran desarrollo. Esta metodología se basa en lo que se conoce como curvas de daños, relación entre la altura alcanzada por el agua y los daños producidos, para diferentes tipos de propiedades o usos del suelo dependiendo de la escala de trabajo utilizada.

El primer autor conocido que trató el tema de daños a propiedades por inundaciones fue White (1945). Entre otros aspectos, definió con gran detalle los tipos de pérdidas causadas por una inundación, en viviendas y en comercios en zonas urbanas. Según White (1945), las pérdidas en zonas residenciales podían ser en las cimentaciones y estructura de la vivienda, garajes y otros bienes, así como vehículos, daños al terreno y otro tipo de daños (indirectos) como la pérdida del alquiler de la vivienda. Aunque sin definir daños directos e indirectos propiamente, ya incluía pérdidas que actualmente se recogen en ambos grupos. Tal y como apuntaba White, la generalización de curvas de daños presenta una gran incertidumbre, puesto que el daño ocasionado sobre una propiedad depende de otros factores o variables que pueden llegar a ser muy importantes. En realidad son muchos los factores que afectan a los daños producidos por una inundación, entre los que se incluyen la altura del agua, la época del año y duración de la inundación, la velocidad del agua, los sedimentos en suspensión y el tiempo de alerta.

Las curvas de daños se suelen representar de forma separada, ofreciendo por un lado el daño en el continente (estructural) y por otro en el contenido. Los daños estructurales se refieren al propio edificio y a los componentes de éste que “no se llevan cuando se realiza una mudanza”, como puede ser la caldera, la moqueta, etc. En cambio los daños a contenidos (bienes muebles) se dan en aquellos objetos que se trasladarían si una persona se mudara del piso en cuestión (McBean *et al.*, 1988).

Por tanto, el desarrollo de curvas de daños puede llevarse a cabo a partir de criterios muy diferentes y algunos de los encontrados en la literatura se utilizan en Australia, a partir de las Directrices del Gobierno de Queensland (Emergency Management Australia *et al.*, 2002), en Estados Unidos, a partir de las Directrices propuestas por la Federal Emergency Management Agency (FEMA, 2015), en España (Valencia) con el criterio propuesto para el Proyecto CRUE (Francés *et al.*, 2008) y en otras ocasiones aplicaciones a casos concretos como el propuesto por el Instituto de Investigación en protección Geo-Hidrográfica de Turín (Italia) ante eventos de inundación producidos por el río Boesio (Luino *et al.*, 2009). En el Reino Unido se puede citar el criterio propuesto en el Multi-Coloured Manual (Penning-Rowell *et al.*, 2005) y, más recientemente, el desarrollo en el Proyecto Europeo CORFU (Velasco *et al.*, 2016; Russo *et al.*, 2013) para el Distrito del Raval (Barcelona) ante eventos de inundación urbana producidos por escorrentía de lluvia.

Las inundaciones, de entre todos los peligros naturales, son las que producen más daños, tangibles (económicos) e intangibles (pérdidas de vidas humanas) (EEA, 2016). El Consorcio de Compensación de Seguros (CCS) y la Dirección General de Protección Civil y Emergencias, informan que las inundaciones han causado la muerte de 312 personas en los últimos 20 años y daños materiales por valor de unos 800 millones de euros al año (CCS, 2017). En este contexto se publicó la Directiva 2007/60/CE de la Comisión Europea, relativa a la evaluación y gestión de los riesgos de inundación, traspuesta a la legislación española mediante el Real Decreto 903/2010 de evaluación y gestión de riesgos de inundación, que obliga a los Estados miembros a elaborar, aprobar e implantar los planes de gestión del riesgo de inundación (PGRIs).

Una de las medidas incluidas en los Planes de Gestión del Riesgo de Inundación es 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 ha sido 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 el aumento de la resiliencia de edificios expuestos.

Si bien se proponen medidas para aumentar la resiliencia de edificios, elementos especialmente vulnerables ante inundaciones urbanas, hasta el momento, el enfoque de los planes de gestión se centra en inundaciones fluviales, las cuales, 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 los

valores de diseño de las redes de drenaje de las ciudades. Este hecho parece que va a ser más notorio de acuerdo a las previsiones que 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).

Desde el 1996 hasta el 2018 las inundaciones pluviales, solo en la ciudad de Barcelona, han supuesto 34 millones de euros en compensaciones, para industrias, oficinas, viviendas y comunidades de propietarios, vehículos y obras civiles, de acuerdo a la clasificación que el CCS propone (Figura 1).

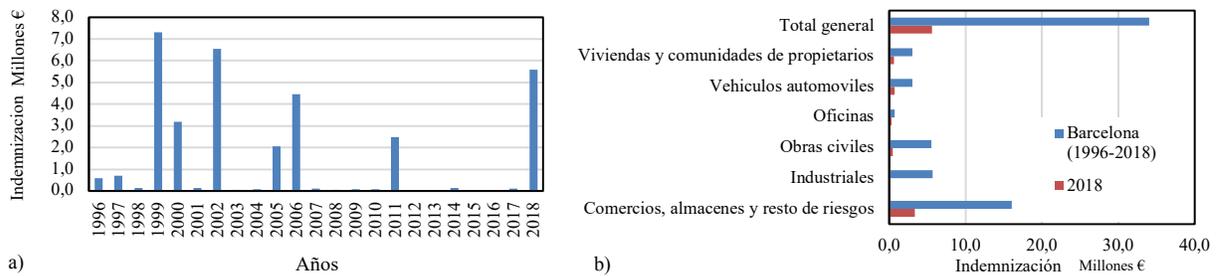


Figura 1 | Indemnizaciones llevadas a cabo por el CCS por daños causados por inundaciones pluviales en la ciudad de Barcelona; a) Totales anuales históricos (periodo 1996 a 2018) y b) Totales históricos (22 años) agrupados por tipos de propiedades.

En dicho año, 2018, se produjeron cuatro eventos de lluvia de gran intensidad, que causaron cuantiosos daños en la ciudad de Barcelona (Figura 1 y Figura 2), marcando ese año como el tercero, de los últimos 22, 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. Analizando las indemnizaciones por los diferentes grupos considerados por el Consorcio de Compensación de Seguros, el 2018 supuso prácticamente un 75% del total compensado concentrado en comercios, almacenes y restos de riesgos. Este patrón no es aislado y de los últimos 22 años todos los eventos de inundación importantes implicaron más del 50% de las indemnizaciones en esta agrupación. Parece, por tanto, que los comercios son las propiedades más vulnerables a las inundaciones urbanas de origen pluvial.



Figura 2 | Consecuencias de las inundaciones pluviales en la ciudad de Barcelona ocurridas el 9 de octubre (izquierda) y 15 de noviembre (derecha) de 2018. Fuente: <https://www.elperiodico.com> y <https://www.telecinco.es> respectivamente.

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 éstas pueden ocasionar. En este trabajo, se presenta una propuesta de modelo conceptual de daños por inundaciones pluviales en zonas urbanas y el desarrollo de curvas de daño por inundación para la ciudad de Barcelona, en el contexto del proyecto H2020 RESCUE. Esta metodología se ha aplicado a la ciudad de Barcelona, pero también se han adaptado las curvas de daños a la ciudad de Badalona, para poder estimar los daños producidos por inundaciones, en el marco del proyecto H2020 BINGO. Se presentan resultados de aplicación del modelo desarrollado, para eventos de lluvias reales y validándose con datos de indemnizaciones facilitadas por el CCS.

MODELO CONCEPTUAL: CALADO EN EL 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 dar 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 presente modelo conceptual, 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_o , Figura 3), son los desniveles a la entrada, distintos para cada uso. Se trata, en realidad, de un elemento protector para los edificios, 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 4), para facilitar el acceso de los clientes. Se ha llevado a cabo un trabajo de campo en la ciudad de Barcelona, para obtener los valores promedio de escalones (desniveles) que se pueden asociar a los diferentes tipos de propiedades consideradas (Tabla 1). El trabajo de campo consistió en la visita y medición de los escalones de unas 50 propiedades de distinto tipo en los barrios de Barcelona que históricamente han sido más inundados: El Raval, Poble Nou y Poble Sec.

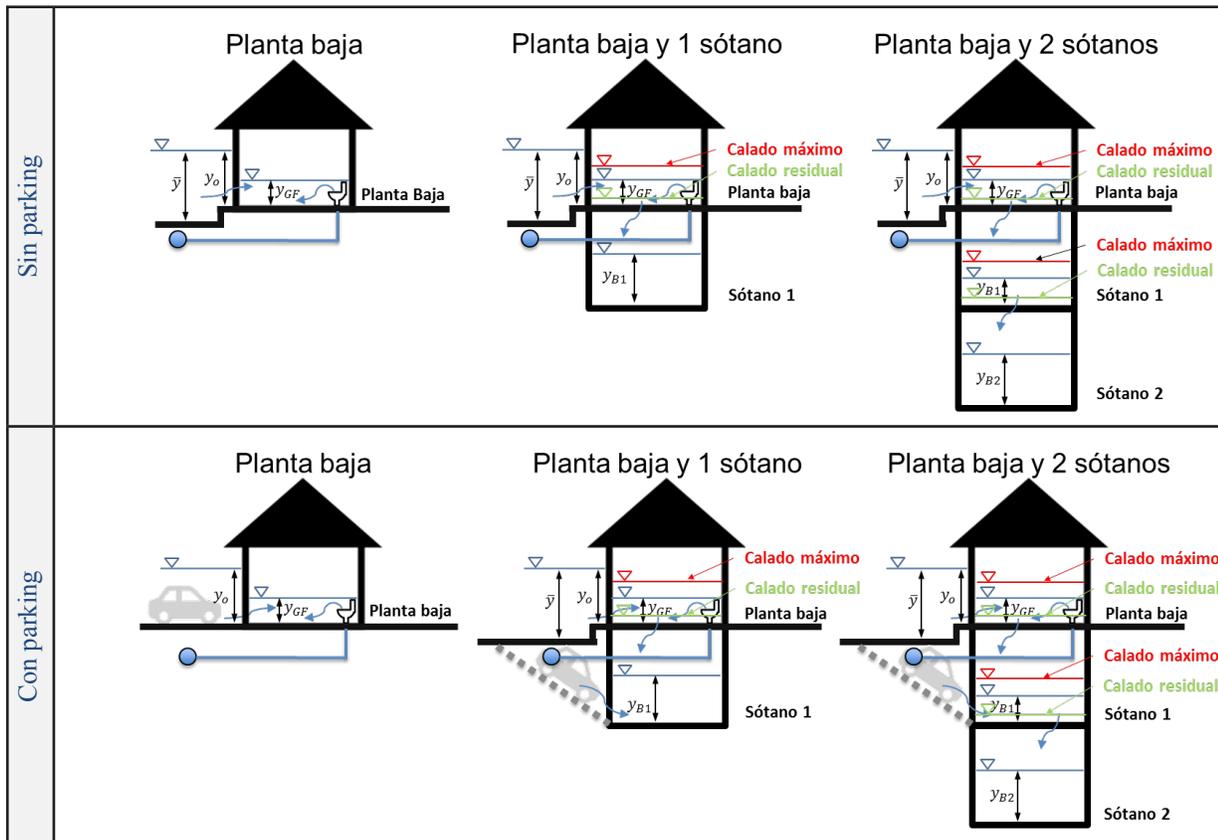


Figura 3 | Modelo conceptual de transferencia del nivel de agua de las calles al interior de la propiedad.

De esta manera, el calado de inundación de 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. En el caso que, el modelo hidrodinámico sea unidimensional (simplificado), podría considerarse también el desnivel del bordillo de la acera. En caso de un modelo detallado bidimensional, el desnivel de la acera puede ser interpretado directamente por el modelo digital de terreno.

Como se indicó anteriormente, el calado que se da en el interior de la propiedad (y_{GF} , Figura 3) 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 el tiempo de residencia del agua en las calles es de muy pocas horas o incluso minutos (Chen et al., 2010), cuando se trata de inundaciones pluviales.



Figura 4 | Puertas de acceso y escalones, prácticamente inexistentes, de dos comercios de la ciudad de Barcelona.

Tabla 1 | Alturas de escalones propuestas por tipo de propiedad.

Tipo de propiedad	Altura del escalón (cm)	Tipo de propiedad	Altura del escalón (cm)
Almacenes	3	Hotel	20
Aparcamientos	0	Industria	5
Bar Restaurante	5	Oficina	20
Comercio General	5	Sanidad	3
Comunidades	15	Talleres	3
Deportivo	3	Viviendas	15
Educación	20	Culto	25

De acuerdo con este enfoque se propone un modelo de daños por inundación en zonas urbanas que se esquematiza en la figura 3. En éste 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 se asume que el hecho 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 asume 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 desarrolladas se aplican, por tanto, con los calados interiores a la propiedad (y_{GF} , y_{B1} , y_{B2} , Figura 3), de acuerdo a este planteamiento.

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 encontrarán 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 5).



Figura 5 | 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 estanqueidad (SC , *Sealing Coefficient*) (1) que relacione ambos calados, el que se da en las calles y el esperable en el interior de la propiedad.

$$SC = \frac{y_{GF}}{y_o} \quad (1)$$

donde y_{GF} es el calado en el interior de la propiedad (GF : *Ground Floor*) y y_o es el calado en el exterior de la propiedad (o : *outside*).

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. Como se ha comentado antes, ambas coinciden cuando se trata de comercios convencionales (pequeños $< 250 \text{ m}^2$) (Figura 6b), pero distarán bastante cuando la calle inundada afecte a un hospital con una gran superficie (Figura 6a) o incluso a un centro comercial donde el agua se espera que ocupe una pequeña parte. La experiencia en peritación de propiedades inundadas de uno de los autores de este trabajo ha permitido estimar el porcentaje de área que podría ocuparse con agua (extensión de la inundación dentro de la propiedad) dependiendo del calado de agua en la calle. Por ejemplo, una propiedad de 1000 m^2 no se espera que sea cubierta de agua hasta que el calado en la calle sea de un metro. Para calados en la calle inferiores a un metro se asume un crecimiento lineal del área de inundación en la propiedad hasta alcanzar el metro y los 1000 m^2 se cubran totalmente. Este comportamiento se ha representado en unas funciones para establecer la superficie potencialmente inundable, en función del calado en la calle y de la superficie total (Figura 7).



Figura 6 | Accesos a propiedades con a) grandes superficies (hospital) y b) pequeñas superficies (pequeños comercios).

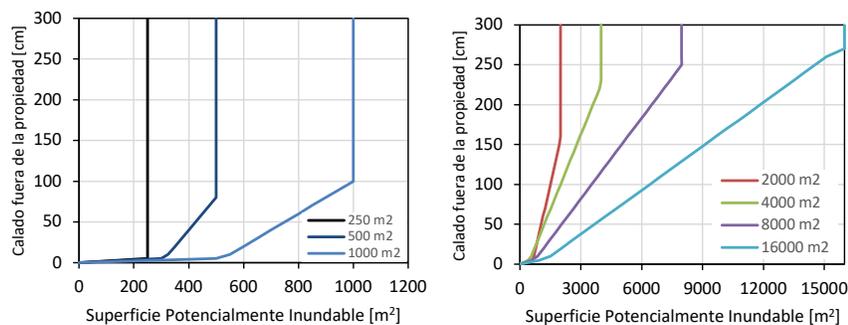


Figura 7 | Superficies potencialmente inundables.

PROCESO DE ELABORACIÓN DE CURVAS DE COEFICIENTES DE ESTANQUEIDAD

Anteriormente se comentó la necesidad de establecer un coeficiente de estanqueidad que permita correlacionar la altura de la inundación en el exterior con la altura esperable en el interior. 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 estanqueidad se ha estimado de acuerdo a la experiencia adquirida, por parte de uno de los autores, en tareas periciales tras eventos de inundación.

Tales coeficientes de estanqueidad, han sido estimados inicialmente para diferentes tipos de cerramientos, así como para desagües y sifones. Un local con cerramientos de vidrio, sin carpintería de aluminio, por ejemplo, permitiría la entrada de agua con más facilidad que otro local con cerramientos de carpintería.

Se espera que estos coeficientes puedan variar según el calado en las calles, ya que a mayor calado se asume 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. Se han relacionado los tipos y número de cerramientos y sanitarios esperables para cada tipo de propiedad considerada en este estudio (Tabla 2).

Tabla 2 | Cerramientos y baños asociados a cada tipo de propiedad.

Tipo de propiedad	Combinación de cerramientos y baños
Almacenes	Persiana y Vidrio >100 cm
Aparcamientos	Persiana
Bar Restaurante	Vidrio < 100 cm y 2 baños
Comercio General	Carpintería metálica/madera y 1 baño
Comunidades	Carpintería metálica/madera
Deportivo	Persiana
Educación	Carpintería metálica/madera y 2 baños
Hotel	Carpintería metálica/madera y 2 baños
Industria	Persiana
Oficina	Carpintería metálica/madera y 1 baño
Sanidad	Vidrio >100 cm y 2 baños
Talleres	Carpintería metálica/madera
Viviendas	Carpintería metálica/madera y 1 baño
Culto	Persiana

De esta forma, la agregación de curvas de cerramientos y sanitarios (Figura 8a) ha permitido establecer una curva de coeficientes de estanqueidad para cada uno de los 14 tipos de propiedades consideradas en este estudio (Figura 8b).

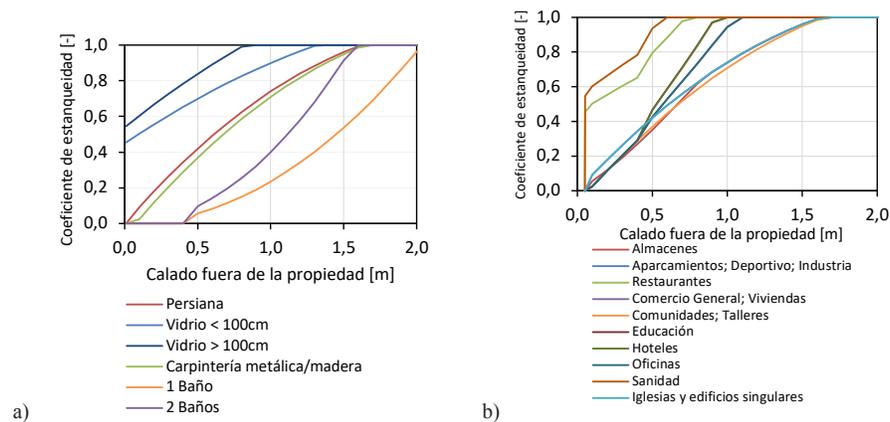


Figura 8 | Curvas de coeficientes de estanqueidad para a) tipos de cerramiento y b) tipos de propiedades.

PROCESO DE ELABORACIÓN DE LAS CURVAS DE DAÑOS

Datos e hipótesis de partida

En este estudio 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 realizada por el CCS y el calado en el interior de la propiedad que produjo tal daño. Las inundaciones consideradas sucedieron durante el periodo del 2012 al 2018 y afectaron a

ciudades españolas de diferentes niveles económicos, ubicadas en la zona 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 a 100 cm) en el interior de las propiedades.

Para este análisis se disponía de la clasificación del tipo de bien dañado: a) edificio, b) mobiliario y/o ajuar, y c) existencias. Sin embargo, por distintas razones, no todas las pólizas aseguran el continente (edificio) y el contenido (mobiliario y ajuar y existencias) ya que éstas pueden estar contratadas por el inquilino de la propiedad y no asegurar el edificio o simplemente no tienen existencias que asegurar. Por lo tanto, no todos los 378 registros disponían datos para los tres grupos de bienes “potencialmente asegurables”. De esta forma, los datos útiles, agrupados por tipo de bien, han sido: 354 registros para edificios, 242 registros para mobiliario y ajuar y 98 registros para existencias. Respecto al calado de inundación en el interior de la propiedad para los diferentes registros, se presentan 52 alturas distintas, siendo el mínimo 1 cm y el mayor 280 cm. La distribución de los registros según los calados de inundación es de 43% (163) hasta 10 cm, 46% (174) entre 10 y 50 cm, 8% (30) entre 50 y 100 cm, siendo únicamente el 3% (11) de los registros correspondientes a inundaciones superiores a 1 m. La tabla 3 presenta un resumen de los registros agrupados por tipo de bien y de propiedad.

Por otro lado, se ha llevado a cabo un trabajo de campo en la ciudad de Barcelona para medir alturas de escalones y observar las tipologías de cerramientos para los diferentes usos de propiedades, en el que se consultó a propietarios o inquilinos de viviendas y locales sobre sus experiencias con las inundaciones.

Tabla 3 | Resumen de registros disponibles por tipo de propiedad.

Tipo de propiedad	Edificio			Mobiliario y Ajuar			Existencias		
	Registros	Alturas inundación	Afectación promedio	Registros	Alturas inundación	Afectación promedio	Registros	Alturas inundación	Afectación promedio
Viviendas	100	22	4.15%	97	20	20.38%			
Talleres	15	11	13.84%	15	11	27.10%	16	8	40.33%
Sanidad	8	5	4.45%	8	5	2.75%			
Oficina	14	10	7.42%	5	3	39.21%			
Industria	12	10	2.74%	11	9	9.03%	12	10	17.09%
Hotel	2	2	16.24%	1	1	100.00%			
Educación	14	8	3.32%	8	5	2.75%			
Deportivo	6	4	5.96%						
Comunidades	44	14	0.56%						
Comercio General	67	23	5.07%	67	23	19.81%	52	16	26.45%
Bar/Restaurante	15	10	11.14%	14	9	18.77%	0	3	41.41%
Aparcamientos	39	11	0.38%						
Almacenes	18	11	1.60%	16	10	14.70%	18	11	23.85%
Iglesias y edificios singulares				Solo se disponía de un dato sobre este tipo de propiedad. Para el desarrollo de su curva de daños se ha aplicado criterio propio de experto pericial.					
Total	354	141		242	96		98	48	

En este estudio se ha considerado el supuesto de que no se producen colapsos de los edificios. Además, variables como la erosión del terreno sobre el que asienta o la velocidad del flujo que incida directamente sobre el edificio, son las que podrían ocasionar un posible colapso y no el nivel del agua. La frecuencia del colapso de edificios es tan baja que la inclusión de este aspecto afectaría al perfil de la curva para el resto de los casos. Por lo tanto, la afectación máxima queda limitada al porcentaje que, sobre el coste de construcción del edificio, suponen los elementos constructivos susceptibles de sufrir daños por inundación (pavimentos, carpintería, instalación eléctrica, climatización, enlucidos, aplacados, pintura, etc.). Para establecer esta afectación máxima, se han consultado prontuarios de precios de construcción (BEC, 2018) y considerado el porcentaje en que cada etapa constructiva puede verse afectada por la inundación. A modo de ejemplo, la afectación máxima en viviendas ha resultado ser del 34%, en industrias del 30%, en aparcamientos del 15% y en oficinas del 36%.

Como una parte del mobiliario y ajuar sufre solo un daño parcial por la inundación (aunque se inunde no se daña totalmente), como por ejemplo las vajillas, estanterías metálicas o transpaletas, también para estos bienes se ha establecido un valor máximo de afectación entre el 90% y el 97%, en función del tipo de propiedad.

Desarrollo de las curvas propuestas para las ciudades de Barcelona y Badalona

Se han propuesto 14 categorías de uso de propiedades, en los que los 378 registros de datos reales han sido clasificados. Para cada uso y para cada tipo de bien dañado (edificio, mobiliario y ajuar y existencias) se ha estudiado la correlación existente entre el daño económico y el calado. Hay que destacar que los llamados daños económicos corresponden al valor pericial, distinto al valor de la compensación realizada por el CCS.

Por los heterogéneos orígenes geográficos y de nivel económico de cada construcción y tipo de propiedad, y con el fin de homogeneizarlos, el primer paso fue realizar el cálculo de las curvas de forma porcentual, como proporción entre el daño y el valor de la propiedad. Para ello, se ha establecido en cada caso el valor de cada bien (edificio, mobiliario y ajuar y existencias) con base en su valor pericial, si ha sido posible disponer de este valor, o bien de la suma asegurada por este concepto, si no existe valoración de preexistencia. La división de dicho valor entre los m² totales de todo edificio, tanto inundados como no, resulta el coste/m² del bien o valor de preexistencia. A su vez, la división del valor pericial del daño entre los m² inundados, que pueden ser distintos a la superficie total del edificio (por ejemplo en edificios de más de una planta o con suelo a distintas cotas...) resulta el daño (€/m²). La relación entre ambos valores es la afectación porcentual, que se ha promediado para todos los registros de un mismo tipo de propiedad que presentan un mismo calado de inundación, según indica, a modo de ejemplo, la tabla 4 para un tipo de propiedad de uso comercial. Así, los 67 registros de comercio general (edificio), se agrupan en 23 calados (dentro de la propiedad) distintos.

Tabla 4 | Registros correspondientes a tipo de propiedad comercial (edificio), agrupados por calados de inundación en su interior.

Calado [cm]	Nº Registros	Valor Promedio [€/m ²]	Daño Promedio [€/m ²]	Afectación Promedio [%]
1	1	1,052.63	95.00	9.02
2	8	434.33	8.56	2.25
3	11	502.28	16.33	24.85
4	2	416.94	29.36	7.04
5	6	411.15	12.98	2.28
6	2	367.71	5.33	1.45
7	1	735.46	15.45	2.10
10	8	415.81	4.38	1.22
12	1	742.41	1.14	0.15
15	3	494.94	2.07	0.42
18	2	741.07	4.65	0.46
20	8	753.99	22.61	12.32
30	1	753.41	7.73	1.03
32	1	493.75	18.11	3.67
35	1	539.77	15.64	2.90
40	3	370.84	5.84	1.60
45	1	453.72	6.61	1.46
48	2	520.17	18.92	3.70
60	1	598.09	6.89	1.15
74	1	842.39	4.95	0.59
82	1	467.29	36.78	7.87
85	1	200.07	21.28	10.63
100	1	750.00	137.63	18.35
TOTAL	67	567.75	21.66	5.07

Para cada tipo de propiedad y bien, se han calculado las correspondientes regresiones lineales. La calidad de los ajustes ha sido bastante dispar, siendo buena en algunos casos, como para el edificio de tipo industrial ($R^2=0.81$) y muy mala en otros, como el edificio de tipo comercio general ($R^2=0.0022$) (Figura 9).

Del estudio de datos disponibles, para algunos tipos de propiedades y bienes, se observaron diversos puntos discrepantes, como, por ejemplo, mucho daño para muy poco calado. Los motivos de la mayoría de estas discrepancias se podían explicar en general por: 1) la heterogeneidad de acabados constructivos, 2) el nivel del coste del mobiliario, 3) la forma de estiba y 4) la existencia o no de cámaras frigoríficas. Un ejemplo sería el dato señalado en rojo en la figura 9, correspondiente a la propiedad de tipo comercio general, en el que un calado de 1 cm ocasiona un daño de más del 70% de las existencias.

De forma generalizada, también se aprecian algunas discrepancias como:

- En el tipo de propiedad comercio general se incluyen tanto locales “robustos” a la inundación (un comercio tipo outlet en una nave industrial), como tiendas de moda con pavimento de parqueté, aplacados de madera y mobiliario también de madera
- La afectación en las existencias de un comercio de alimentos refrigerados se produce en cascada, de forma tal que tanto cuando las cámaras frigoríficas han resultado afectadas a poca altura, a mucha altura o a altura total, los daños son totales, mientras que en un comercio de materiales de construcción, aún con existencias en inmersión, es posible establecer salvamentos altos.

Particularizando en los edificios, las correlaciones lineales en algunos casos presentan mejor ajuste que en otros, pero se cumple en general que, para calados bajos, el ajuste lineal no explica el fenómeno. Se ha observado que para los edificios en la mayor parte de los tipos de propiedades, el valor máximo de afectación porcentual, descrito en el apartado de datos e hipótesis de partida, respecto al coste de construcción a fecha de hoy se alcanza a partir de 180 cm de calado. Dicho calado es el que se ha establecido como límite máximo de daños.

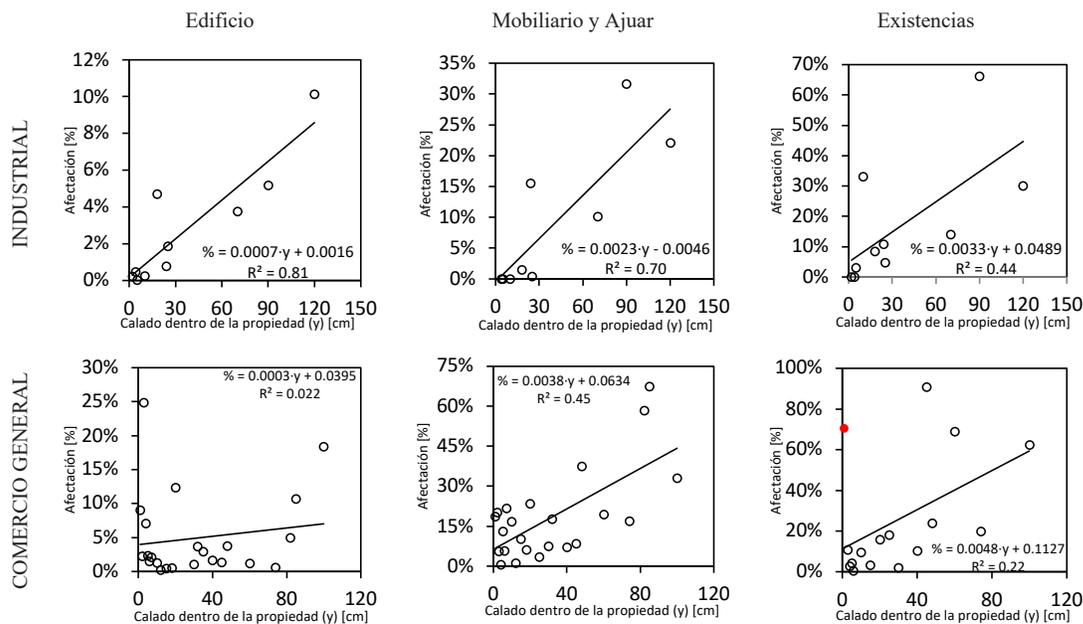


Figura 9 | Relación del calado dentro de la propiedad con la afectación en edificio, mobiliario y ajuar, y existencias, para uso industrial y comercio general.

El porcentaje de daño asociado a los calados intermedios (entre los calados más bajos y el calado de afectación máxima), si el coeficiente de correlación es suficientemente bueno, se ha establecido según el valor resultante de la recta de regresión. Sin embargo, porcentajes de daños ocasionados por calados bajos (<10 cm) han sido estimados de acuerdo a la experiencia pericial en evaluación de daños por inundación. Para los calados superiores a 180 cm se ha establecido la máxima afectación y se ha dejado únicamente el ajuste (estadístico) basado en los datos reales para calados intermedios (entre 10 y 180 cm), cuando su ajuste es suficientemente bueno. En la figura 10 se presenta a modo de ejemplo la curva propuesta para el edificio de tipo industrial.

En cuanto a las existencias, con la excepción de aquellas que requieren cámaras frigoríficas, las mercancías suelen estar almacenadas en estanterías y por ello el valor del stock se distribuye de una forma uniforme entre las alturas de los estantes (Figura 10). Aunque algunas existencias puedan ser susceptibles de sufrir un daño parcial por la inundación (materiales de construcción, plásticos...), se ha considerado que los casos en los que esto puede pasar no son suficientemente representativos y, a diferencia de edificios y mobiliario y ajuar, se ha establecido como máxima afectación en existencias el 100% (Figura 10).

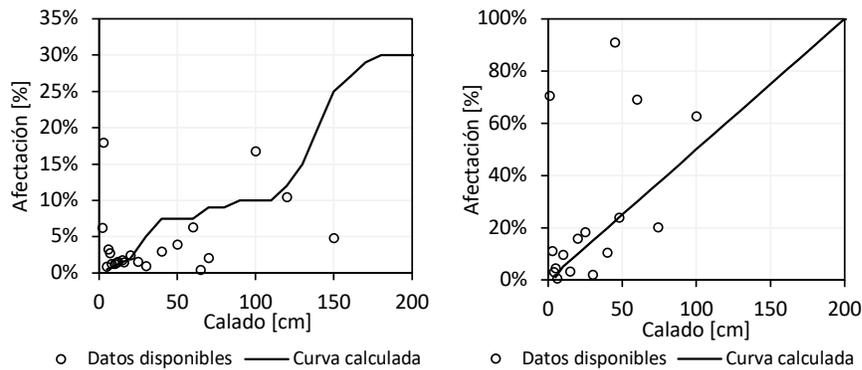


Figura 10 | Curva propuesta para edificio de tipo industrial (izquierda) y para las existencias de propiedades de tipo comercio general (derecha). Datos reales superpuestos.

En general, las distintas correlaciones lineales para el mobiliario y ajuar son las que tienen mejores coeficientes de determinación R^2 , habiéndose obtenido un valor de $R^2=0.74$ para propiedades de tipo restauración y $R^2=0.82$ para talleres. También en este caso para los calados más bajos se ha estimado el porcentaje de daño directamente. Como se comentó en el apartado de datos e hipótesis de partida, también para estos bienes se ha establecido un valor máximo de afectación entre el 90% y el 97%, en función del tipo de propiedad. En la figura 11 se muestran, a modo de ejemplo, las curvas propuestas para el mobiliario y ajuar de propiedades tipo restauración y talleres.

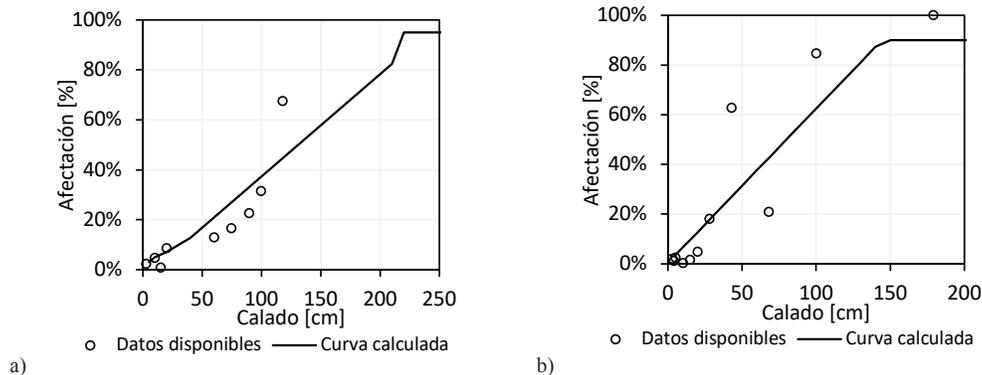


Figura 11 | Curva propuesta para mobiliario y ajuar de a) tipo restauración y b) talleres y datos reales superpuestos.

En la figura 12 se presentan las curvas propuestas para cada bien y para cada tipo de propiedad según los daños o afectación porcentual. Estas curvas pueden ser utilizadas para cualquier ciudad española altamente urbanizada, requiriendo únicamente establecer el coste absoluto de los bienes, que puede variar entre ciudades dependiendo del coste de la vida. Por lo tanto estas curvas se consideran invariables en tiempo y en espacio, siempre que se apliquen a ciudades de un alto grado de urbanización. Por ejemplo, no serían adecuadas para una urbanización aislada donde solo haya viviendas tipo casas aisladas.

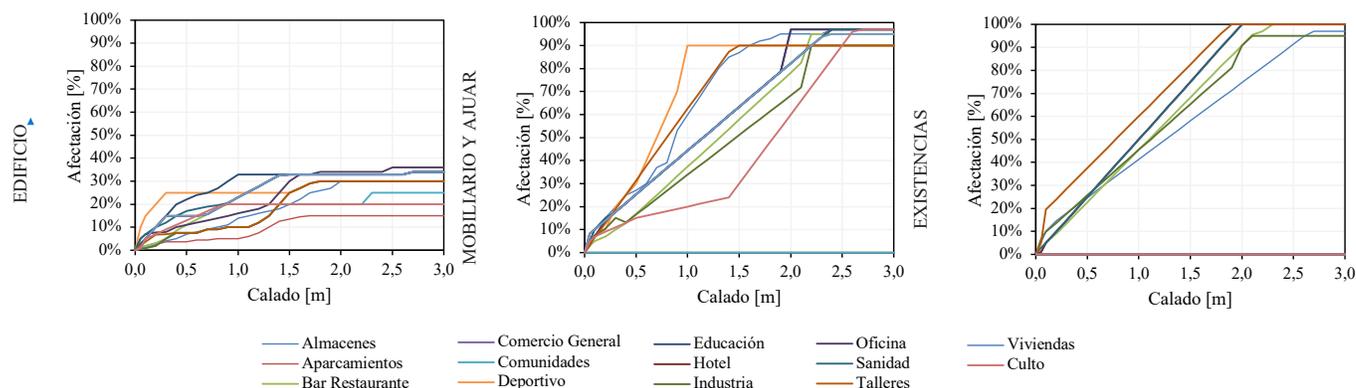


Figura 12 | Curvas de afectación (%) para a) edificios, b) mobiliario y ajuar, c) existencias utilizables para cualquier ciudad altamente urbanizada en España.

Como ya se comentó anteriormente, los datos de referencia corresponden a municipios, barrios y tipologías constructivas y/o de mobiliario muy distintas. Sin embargo, el cálculo de afectación por porcentaje resultante se asume adecuado para cualquier municipio. Las curvas de daños finales, para poder aplicarse deben ser presentadas en función del nivel económico del municipio en el que va a ser aplicada y, por tanto, la afectación porcentual se debe convertir a €/m². Cabe comentar la importancia de considerar las curvas de afectación (%) separadas por bienes a la hora de transferirlas a otras ciudades. De esta forma, se puede considerar una variación del coste de los bienes diferente entre ciudades. Por ejemplo, puede ser que los costes del edificio sean iguales entre dos ciudades, pero en cambio los de mobiliario y ajuar y existencias sean sensiblemente diferentes. Por lo tanto, la suma de curvas de bienes por tipo de propiedad debe hacerse una vez se apliquen los costes correspondientes propios de la ciudad de estudio.

Para llevar a cabo la conversión de afectación porcentual (%) a daño absoluto (€/m²), inicialmente se han determinado los deciles (coste (€/m²) de la distribución de valores de la muestra de datos disponibles para cada tipo de propiedad y bien. Con base en la amplia experiencia de uno de los autores de este trabajo en tareas periciales evaluando daños por inundación en diferentes ciudades de España, se ha establecido el coste (€/m²) que mejor se adecua al nivel económico de Barcelona para cada tipo de propiedad y bien. En algunos casos, cuando el decil no se correspondía al criterio pericial, se ha modificado sensiblemente según se indica en la tabla 5.

Tabla 5 | Coste (€/m²) para los bienes (Edificio, Mobiliario y Ajuar y Existencias) de cada tipo de propiedad en Barcelona.

	Edificio (€/m ²)	Decil	Mobiliario y Ajuar (€/m ²)	Decil	Existencias (€/m ²)	Decil
Vivienda	999.89	D9	227.51	D9	-	-
Talleres	539.00	D8	419.03	D8	190.88	D8
Sanidad	1,227.75	D9	1,871.91	D8	250.00	Estimación directa
Oficina	1,500.00	D9	401.05	D9	-	-
Industria	568.16	D9	1,827.36	D8	404.14	D8
Hotel	1,443.00	D8	208.25	D8	50.00	Estimación directa
Educación	1,521.23	D6	151.14	D8	-	-
Deportivo	1,811.85	90% D9	86.68	D6	-	-
Comunidades	1,629.62	D8	-	-	-	-
Comercio General	743.93	D8	338.85	D8	394.84	D8
Bar/Restaurante	1,050.74	D9	470.78	D9	60.93	D9
Aparcamiento	1,064.59	90% D6	-	-	-	-
Almacenes	733.43	D8	446.07	D8	853.86	Promedio de D6 a D9
Iglesias y edificios singulares	906.00	Promedio de D6 a D9	250.00	Estimación directa	-	-

Una vez asociado el coste (€/m²) más apropiado para cada bien y propiedad acorde a la ciudad de Barcelona, se pueden construir las curvas en valores absolutos (daños (€/m²) para cada bien. La agregación de las tres curvas (edificio, mobiliario y ajuar y existencias) ofrece la curva final asociada a cada tipo de propiedad.

En los tipos de propiedades donde no se disponía de datos suficientes, o en los que, por la dispersión de valores la correlación no responde a la que, de acuerdo a la experiencia pericial adquirida, es razonablemente esperable (centros de culto, aparcamientos, deportivos...), se ha trasladado la curva de otra actividad asimilable. En la figura 13 se presentan las curvas de daño propuestas para la ciudad de Barcelona, de acuerdo a la clasificación de 14 tipos de propiedades.

Una vez establecidas las curvas de daños para la ciudad de Barcelona, se han trasladado las curvas a la ciudad de Badalona (al norte de Barcelona), que sufre también el mismo tipo de inundaciones pluviales en zona urbana. Se ha considerado la misma distribución de daños por alturas, pero se han escogido los costes (€/m²) de cada bien (edificio, mobiliario y ajuar y existencias), modificando los propuestos en la tabla 5, para cada tipo de propiedad de acuerdo a las características de la ciudad de Badalona y según el criterio del autor y experto en tareas periciales. Este procedimiento se prevé se haga extensivo a diferentes ciudades de España, estableciendo los deciles adecuados para cada una de ellas, en un trabajo próximo. De esa manera, se podrán adaptar las curvas de daños a cualquier ciudad del territorio español, considerando que la distribución de daños porcentuales en altura es igual en cualquier ciudad de nuestro país, pero posiblemente muy diferente a la que se pueda dar en otros países.

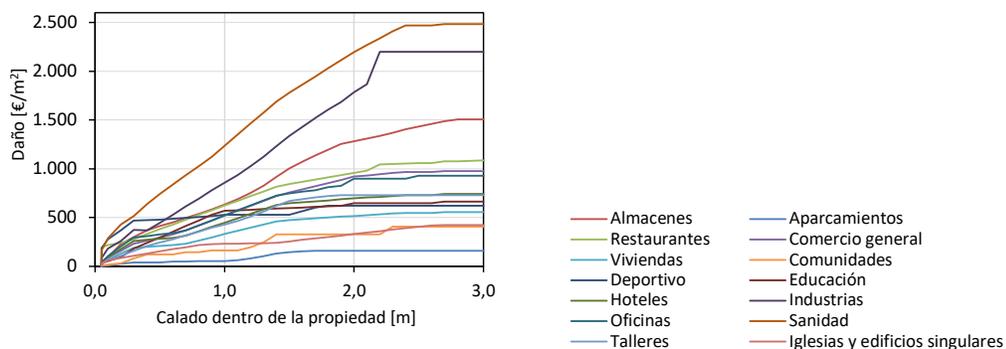


Figura 13 | Curvas de daños propuestas para la ciudad de Barcelona.

RESULTADOS: APLICACIÓN DE LAS CURVAS DE DAÑOS DESARROLLADAS

Para poder aplicar el modelo conceptual propuesto y las curvas de daños, se ha desarrollado una herramienta GIS que automatiza el proceso y permitiría estimar los daños en cualquier ciudad española, teniendo como información de partida las parcelas censales, descargadas de la web del catastro, el archivo shape de inundación (resultado de un modelo hidrodinámico acoplado 1D/2D) de la ciudad en concreto, y las curvas de daños y coeficientes de estanqueidad de la ciudad de estudio.

En el marco de los proyectos europeos H2020 RESCCUE y BINGO, con ciudades de estudio Barcelona y Badalona respectivamente, se han modelizado las redes de drenaje de ambas ciudades mediante el software InfoWorks Integrated Catchment Modelling (ICM) (Innovyze, 2016), que ofrece la posibilidad de realizar un modelo hidrodinámico acoplado 1D/2D. Esto ha permitido, para lluvias reales y de proyecto, obtener las inundaciones en las calles de ambas ciudades. Entre los diferentes riesgos que las inundaciones pluviales pueden presentar, se encuentran los daños directos tangibles (o económicos).

El 30 de julio de 2011 ocurrió una lluvia torrencial que causó una gran inundación en la ciudad de Barcelona. La lluvia acumulada fue de 30.4 mm en una hora, la intensidad máxima en 20 minutos fue de 105.9 mm/h (correspondiente a un periodo de retorno de 8 años aproximadamente), y una intensidad de lluvia máxima en 5 minutos de 140.4 mm/h (correspondiente a un periodo de retorno de 2 años) (Russo *et al.*, 2015). Casi dos millones de euros fueron compensados por el CCS (Figura 1), en relación a daños directos a propiedades, entre los cuales más del 80% destinado a comercios, almacenes y otros.

Una de las inundaciones más dañinas en Badalona desde el punto de vista económico, sucedió el 14 de septiembre de 1999, con una precipitación de entre 50-100 mm en dos eventos de una duración de una hora cada uno. Hubo diferentes episodios de desbordamiento de cauces y colectores y cerca de 900 000 euros fueron indemnizados por el CCS por daños directos a propiedades.

Se presentan aquí, los resultados de la estimación de daños para estos dos eventos de inundación que ocasionaron cuantiosos daños en Barcelona y Badalona. Para poder validar el modelo, los daños de inundaciones reales deben ser conocidos. Por lo tanto, los datos de compensaciones por inundaciones en Barcelona y Badalona facilitados por el CCS han sido esenciales para poder comparar con los resultados obtenidos a partir de la herramienta GIS. Puesto que los datos reales no son los daños propiamente dichos, sino las compensaciones, se asume de partida que los daños calculados deben ser superiores, entorno a un 20% de acuerdo a las propias estimaciones del CCS y de acuerdo a la experiencia pericial de uno de los autores de este trabajo.

En la tabla 6 se presentan los resultados obtenidos para las dos inundaciones descritas anteriormente en Barcelona y Badalona, así como los datos de las reclamaciones compensadas por el CCS referentes a propiedades. Se observa como en ambos casos, los resultados obtenidos son superiores a las indemnizaciones, 31% en el caso de Barcelona y 21% en el caso de Badalona. Se presenta también la figura 14 en la que se observa la distribución de los daños calculados en ambas ciudades correspondientes a los dos eventos considerados. De acuerdo a la unidad mínima de localización del daño, el código postal, facilitado por el CCS, se aprecia una correspondencia muy aceptable entre el daño calculado y la localización de las compensaciones por código postal.

Tabla 6 | Resultados de los daños calculados para la inundación del 30 de julio del 2011 en Barcelona y del 14 de septiembre del 1999.

Municipio	Evento	Compensaciones	Daños calculados	Desvío [%]
Barcelona	30/07/2011	1,996,791.87 €	2,625.203.93 €	+31%
Badalona	14/09/1999	865,652.05 €	1,098,467.76 €	+21%

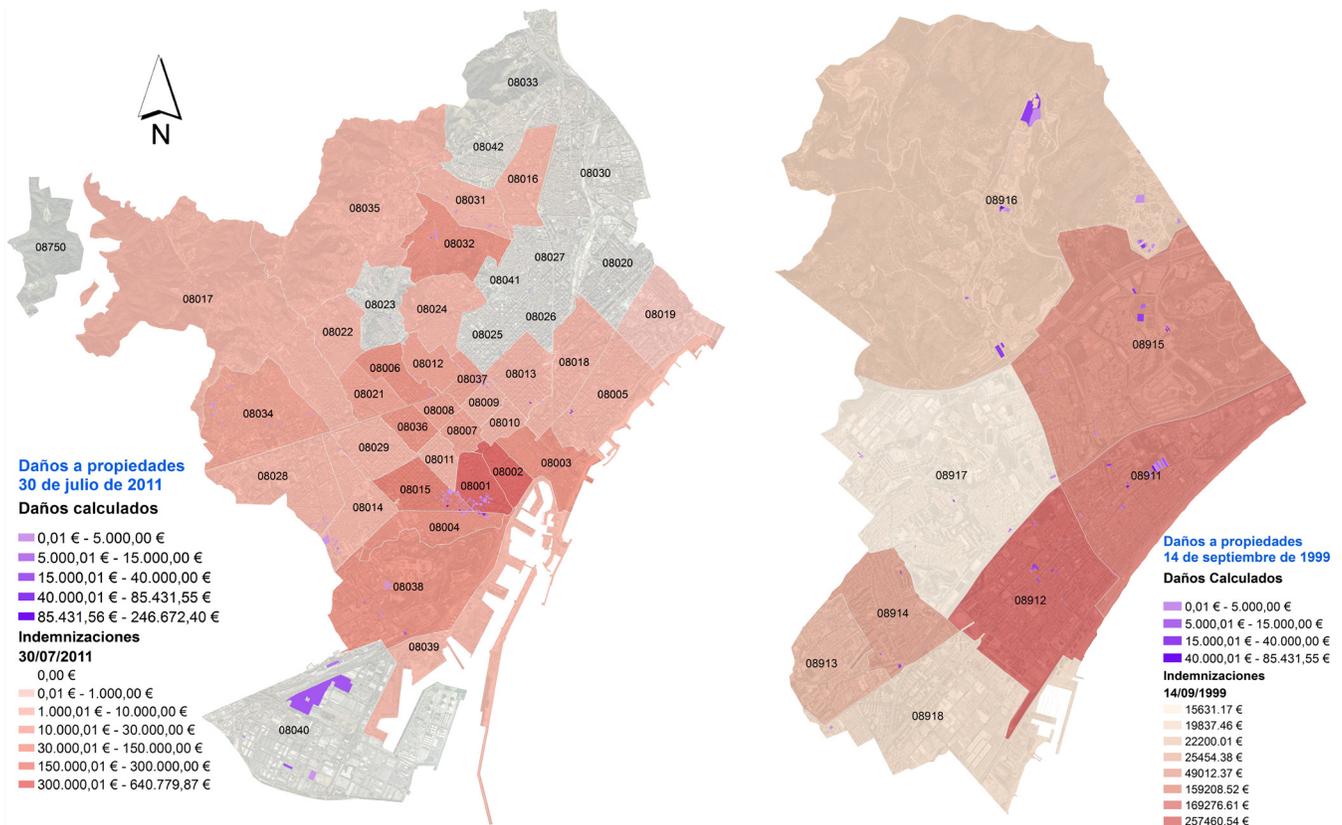


Figura 14 | Distribución de los daños calculados a propiedades por inundación en Barcelona (30/07/2011) (izquierda) y Badalona (14/09/1999) (derecha).

Algunas razones que explican las diferencias entre daño total y la suma total de indemnizaciones para cada ciudad y evento pueden ser las siguientes:

1. Se consideran todas las parcelas catastrales con su uso de suelo correspondiente y que todos los edificios están ocupados y tienen actividad. Sin embargo y especialmente en momentos de crisis, esto no es cierto. Así pues, el número de construcciones inundadas indemnizadas por el C.C.S. será inferior al número de construcciones con daños, que el modelo sobrevalorará.
2. No todas las propiedades tienen seguro vigente en el momento de la inundación por lo que el modelo sobrevalorará el daño. En cualquier caso, en las localidades y en especial en las calles donde las inundaciones son recurrentes, el nivel de aseguramiento suele ser mayor que el estimado por el nivel económico de la provincia, por lo que esta diferencia será baja en los casos en los que haya antecedentes.
3. Además de las inundaciones en calles, el CCS también indemniza daños en jardines o patios exteriores de la propia parcela, supuestos no considerados en el desarrollo de las curvas, así que el modelo infravalora el daño.
4. En el cálculo de la indemnización del CCS, cuando la suma asegurada contratada para los bienes (edificio, mobiliario y ajuar y existencias) es inferior a la valoración pericial, puede aplicarse la correspondiente regla proporcional por infraseguro. Así se reducen los daños en la misma proporción que existe entre suma asegurada y valor pericial del bien.
5. Para episodios que hayan tenido lugar entre 1986 y 2004, de acuerdo con lo que se establecía en el anterior Reglamento de Riesgos Extraordinarios, las indemnizaciones estaban afectadas por la aplicación de franquicias. El Reglamento del Seguro de Riesgos Extraordinarios vigente desde 2004, suprime la franquicia para cualquier daño material en viviendas y comunidades de propietarios y la modifica para el resto de los riesgos.
6. Los datos disponibles se han ajustado para incluir el cambio legislativo, siendo para el periodo anterior a 2004 un desvío entre daños y compensaciones del 24% y, para los posteriores a 2004, del 13%.
7. Finalmente, la propia incertidumbre del modelo, curvas y selección de los costes por m² en cada ciudad, son aspectos que pueden hacer desviar en mayor o menor medida el resultado final respecto al daño real y por tanto también respecto a las indemnizaciones.

CONCLUSIONES Y PROPUESTA DE FUTUROS DESARROLLOS

Las curvas de daño deben ser aplicadas para el calado en el interior del edificio, a pesar de que comúnmente el calado obtenido por un modelo hidrodinámico, en las calles, es el que se asocia a las diferentes parcelas para posteriormente aplicar las curvas de daño. Por este motivo se ha propuesto en este estudio un modelo conceptual para estimar el calado en el interior de las propiedades. Para poder aplicar dicho modelo conceptual, se han desarrollado las curvas de coeficientes de estanqueidad y las curvas de superficies de área potencialmente inundable, que pueden ser aplicadas a cualquier ciudad española. Las curvas de daño, para no tener en cuenta la variabilidad de los costes de los bienes en diferentes ciudades, se desarrollaron inicialmente en porcentaje de daño (curvas de afectación), para posteriormente adaptarse a €/m² para la ciudad de Barcelona. Por lo tanto, las curvas de afectación (%) son utilizables para cualquier ciudad española, asociando posteriormente los costes estimados de los bienes para la ciudad de estudio. En este trabajo, se asocian unos costes (€/m²) para los bienes (edificio, mobiliario y ajuar y existencias), de acuerdo a la experiencia adquirida en tareas periciales por parte de uno de los autores del estudio, para construir la curva de daños asociada a una ciudad. Se han pretendido definir unas herramientas que recogen la experiencia pericial en tareas de evaluación de daños post-inundaciones a nivel nacional. Si bien se ha llevado a cabo inicialmente un tratamiento de los datos reales (378 registros), a la hora de construir las curvas se han corregido y ajustado valores que un procedimiento sistemático presentaba de forma poco realista. La aplicación del modelo conceptual propuesto ha presentado resultados aceptables para dos ciudades españolas, Barcelona y Badalona, para dos eventos de inundación que ocasionaron daños importantes en ambas ciudades. El daño calculado ha resultado superior al de las indemnizaciones (no todas las propiedades tienen actividad, no siempre el seguro está vigente, infraseguros, franquicia, etc.) para ambos eventos y ciudades (31% en Barcelona y 21% en Badalona).

Con el presente estudio se ha pretendido representar en un modelo y en funciones (daños, coeficientes de estanqueidad y superficies potencialmente inundables) el amplio conocimiento adquirido con los años en tareas periciales relacionadas con

inundaciones, tanto fluviales como pluviales. Se ha propuesto una metodología y unas herramientas que han respondido adecuadamente a dos eventos en dos ciudades diferentes. Sin embargo, se requiere de un mayor número de casos reales para poder validarlas de una forma mucho más efectiva. La inestimable colaboración del CCS ha sido esencial y lo seguirá siendo puesto que se trata de la institución española con más información sobre eventos catastróficos en general, y sobre inundaciones en particular. Una base de datos georreferenciada y de libre disposición para el interesado (estudiantes, investigadores, etc.) proporcionaría una sólida base de partida para avanzar en el estudio de los riesgos de las inundaciones pluviales, cuyo impacto económico no es despreciable, tal y como se ha indicado aquí con cifras para la ciudad de Barcelona.

Se concluye finalmente con la puesta de manifiesto de la necesidad de que el estudio de las inundaciones pluviales pueda ser contemplado en un futuro próximo en los planes de gestión del riesgo de inundación (PGRIs) de España, puesto que se dispone de herramientas para ello.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo del proyecto RESCCUE y BINGO, ambos financiados por el programa H2020 de la Unión Europea (Acuerdo No. 700174 y No. 641739 respectivamente).

A los autores les gustaría manifestar también su agradecimiento al Consorcio de Compensación de Seguros (CCS), por su colaboración en la disponibilidad de datos que han permitido validar los resultados obtenidos.

REFERENCIAS

- 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>
- Boletín económico de la Construcción (BEC) 2018. Revista de información económica (precios unitarios y descompuestos) dirigida a profesionales del sector de la construcción. N° 309. <https://becsl.es>. Barcelona, España.
- 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, 1491-1498. <https://doi.org/10.2166/wst.2010.486>
- Consorcio de Compensación de Seguros (CCS). 2017. Guía para la reducción de la vulnerabilidad de los edificios frente a las inundaciones. MAGRAMA, MINECO y Consorcio de Compensación de Seguros. Madrid, España.
- Emergency Management Australia (EMA) and Queensland Government. Department of Emergency Services. 2002. Disaster loss assessment Guidelines (Guide 11). Part III-Emergency Management Practice. Volume 3-Guidelines. Queensland, Australia.
- European Environmental Agency (EEA). 2016. Flood risk in Europe: the long-term outlook. Copenhagen, Dinamarca. Descargado de: <https://www.eea.europa.eu/highlights/flood-risk-in-europe-2013>
- Francés, F., García-Bartual, R., Ortiz, E., Salazar, S., Miralles, J.L., Blöschl, G., Komma, J., Haberer, C., Bronstert, A., Blume, T. 2008. Efficiency of non-structural flood mitigation measures: “room for the river” and “retaining water in the landscape”. CRUE Research Report No I-6. Londres, Reino Unido.
- Federal Emergency Management Agency (FEMA). Department of Homeland Security. Mitigation Division. 2015. Multi-hazard Loss Estimation Methodology. Flood Model. Hazus-HM MR5 Technical Manual. EEUU. 499p.
- Innovyze. 2019. User Manual Reference, InfoWorks ICM (Integrated Catchment Modeling v.8.5.9).
- Luino, F., Cirio, C. G., Biddoccu, M., Agangi, A., Giulietto, W., Godone, F., Nigrelli, G. 2009. Application of a model to the evaluation of flood damage. *GeoInformatica*, 13(3), 339-353. <https://doi.org/10.1007/s10707-008-0070-3>

McBean, E.A., Gorrie, J., Fortin, M., Ding, J., Monlton, R. 1988. Adjustment Factors for Flood Damage Curves. Technical Paper. ASCE. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 114(6). 635-646. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9496\(1988\)114:6\(635\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9496(1988)114:6(635))

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*. Cromwell Press, ed. Londres, Flood Hazard Research Centre, Middlesex University Press.

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. IWA publishing*, 17(3), 473-491. <https://doi.org/10.2166/hydro.2014.063>

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>

White, G.F. 1945. *Human Adjustment to Floods: A Geographical Approach to the Flood Problem in the United States*, University of Chicago.