

ESTIMACIÓN DE LOS DAÑOS POR INUNDACIONES EN EL MEDITERRÁNEO ESPAÑOL A PARTIR DE LA LLUVIA

Maria CORTÈS SIMÓ^{1,2}, Marco TURCO¹, Montserrat LLASAT-BOTIJA^{1,2}, Maria Carmen LLASAT BOTIJA^{1,2}

¹ *Departamento de Física Aplicada, Universitat de Barcelona, Barcelona, 08028, España.*

² *Institut de Recerca de l'Aigua (IdRA), Universitat de Barcelona, Barcelona, 08001, España..*

mcortes@meteo.ub.edu

RESUMEN

El Mediterráneo es una zona afectada frecuentemente por episodios de inundaciones que producen daños socioeconómicos importantes. La mayoría de las inundaciones que se producen son debido a episodios locales, con precipitaciones intensas y de corta duración, que afectan zonas urbanas o cuencas pequeñas usualmente no aforadas. Por lo tanto, es esperable que la precipitación sea el principal factor asociado a la peligrosidad que contribuya a los daños producidos por este tipo de episodios. Para corroborar esta hipótesis, se ha estudiado la relación entre la precipitación y las indemnizaciones pagadas por el Consorcio de Compensaciones de Seguros para dos regiones del Mediterráneo español: Cataluña y la Comunidad Valenciana. La metodología aplicada consiste en el desarrollo de un modelo de regresión logística para poder estimar la probabilidad de que los daños económicos superen un umbral escogido, como consecuencia de una precipitación determinada. En el modelo se ha trabajado con otras variables, tanto por la parte de peligrosidad (pendiente de la cuenca), como de vulnerabilidad y exposición (PIB, densidad de población, porcentaje de área urbana). La validación del modelo se ha llevado a cabo a través de los diagramas ROC (Receiver Operating Characteristic), así como a partir de casos de estudio para las dos regiones, demostrando que el modelo desarrollado tiene una buena bondad de ajuste.

Palabras clave: daños, datos aseguradoras, inundaciones, precipitación, regresión logística.

ABSTRACT

The Mediterranean is an area frequently affected by flood events that produce significant socioeconomic damage. The majority of the damage caused by these events is due to local events, with intense and short-lived rainfall that affect urban zones and small basins. Therefore, it is assumed that precipitation is the main contributing factor for damage caused by this type of event. To corroborate this hypothesis, the relationship between precipitation and compensations paid by the Insurance Compensation Consortium (CCS) has been analysed in two regions of the Spanish Mediterranean: Cataluña and Comunidad Valenciana. The relationship has

been assessed using logistic regression models in order to estimate the probability of overpassing a selected economical damage threshold given a particular precipitation amount. Furthermore, it has been taken into account other variables in the model, both in terms of hazard (slope of the basin), and vulnerability and exposure (Gross Domestic Product, population density, percentage of urban area). The validation of the model has been carried out considering the ROC diagrams (Receiver Operating Characteristic), as well as specific study cases for both regions, proving that our model has skill.

Key words: damage, insurance data, floods, precipitation, logistic regression.

1. INTRODUCCIÓN

Las inundaciones son uno de los riesgos más importantes en el mundo. Entre 2005 y 2014 más de 85 millones de personas fueron afectadas por estos episodios y los daños económicos superaron millones de euros. Debido a ello hay un interés creciente no sólo en el estudio de sus causas y predicción, sino también en la posible modelización de los impactos. Sin embargo, los datos sobre impactos que se disponen acostumbra a ser muy escasos, siendo usual la utilización de información procedente de compañías de seguros (Barredo et al., 2012; Bernet et al., 2017, Spekkers et al., 2015).

La mayoría de las inundaciones que se producen en el Mediterráneo son debidas a episodios locales, con precipitaciones intensas y de corta duración, que afectan zonas urbanas o cuencas pequeñas usualmente no aforadas (Turco y Llasat 2011, Llasat et al., 2016, Cortès et al., 2018). Por lo tanto, es esperable que la precipitación sea el principal factor asociado a la peligrosidad que contribuya a los daños producidos por este tipo de episodios. Es por eso, que en el presente estudio se analiza la relación entre la precipitación y los daños producidos por inundaciones en dos regiones de estudio del Mediterráneo español: Cataluña y la Comunidad Valenciana.

El objetivo del estudio es la elaboración de un modelo múltiple de regresión logístico para estimar la probabilidad de que a consecuencia de una determinada precipitación que da lugar a inundaciones los daños económicos superen ciertos umbrales. Los resultados de este estudio pueden ayudar en la mejora del conocimiento sobre el riesgo de inundaciones en el Mediterráneo y a estimar de manera más precisa los daños producidos cuando se pronostican valores elevados de precipitación.

2. MÉTODOS

2.1. Datos

Para la realización del presente estudio se han utilizado datos procedentes de diferentes fuentes. Las bases de datos INUNGAMA y PRESSGAMA (Llasat et al., 2009, 2013) se han actualizado hasta 2015 para disponer de información sobre los episodios de inundaciones que se han registrado en la zona de estudio (Cataluña y Comunidad Valenciana). La precipitación acumulada en 24 h se ha obtenido de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) y la de 30 minutos del *Servei Meteorològic de Catalunya* (SMC) y de la Confederación Hidrográfica del Júcar (CHJ). Los datos de población y Producto Interior Bruto (PIB) para cada año del

estudio han sido proporcionados por el *Institut d'Estadística de Catalunya* (IDESCAT). La zona urbana se ha obtenido a partir de los mapas del 2005 y 2011 del Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo de España (SIOSE), para los cuales se ha hecho un tratamiento con herramientas GIS para poder obtener la proporción de zona urbana de cada una de las cuencas. La pendiente media de la cuenca se ha generado a partir del Mapa Digital del Terreno (MDT) del Instituto Geográfico Nacional (IGN). Finalmente, para los datos de daños se han utilizado las indemnizaciones pagadas por el Consorcio de Compensación de Seguros (CCS) por daños por inundaciones. Tanto los daños como el PIB se han actualizado a euros de 2015 para no tener en cuenta el efecto de la inflación. El periodo de estudio es 1996-2015, para el cual se posee datos del CCS sobre daños de inundaciones. La unidad mínima es la cuenca, y por lo tanto, cada episodio puede tener diferentes cuencas afectadas (a partir de ahora "casos"). Para la Comunidad Valenciana solo se ha trabajado con la Confederación Hidrográfica del Júcar para la que se dispone de la precipitación en 30 minutos.

2.2. Metodología

2.2.a. Selección de variables y modelo múltiple logístico

Para la elaboración de un modelo múltiple de regresión logística es necesario seleccionar las variables explicativas del modelo y analizar cuáles son las que aportan más información a la variable respuesta. En el presente estudio, la variable respuesta son los daños de cada episodio de inundaciones, considerados aquí como el total de las indemnizaciones pagadas por el CCS para cada una de las cuencas afectadas. Las variables explicativas que se han considerado son: precipitación máxima y media acumulada en 24h en la cuenca; precipitación máxima acumulada en 30 minutos; pendiente media de la cuenca; proporción de zona urbana; población total; PIB total. Para seleccionar las variables explicativas se ha realizado un proceso de "Stepwise Regression" en las dos direcciones ("backward" y "forward") para saber qué variables explicativas aportan más información en el modelo. Este análisis se ha validado con la generación manual de las posibles combinaciones de variables explicativas y calculando para cada uno de ellos dos parámetros que miden la calidad del modelo: AIC (*Akaike Information Criterion*) y el área debajo de la curva ROC (*Relative Operating Characteristic*). Para trabajar con la probabilidad de que se supere un cierto nivel de daños se han escogido los percentiles 10th, 20th, 30th, 40th, 50th, 60th, 70th, 80th, 90th. De esta manera, la variable respuesta "daños" se transforma en una variable binaria, la cual tendrá valor 0 en el caso que no se supere ese percentil de daños y 1 si sí se supera.

Con la aplicación del método de selección "Stepwise Regression" para los diferentes percentiles de daños se ha observado que las variables que aportan más información al modelo son la precipitación 30 minutos, la pendiente, el PIB y la proporción de zona urbana. Estas dos últimas están muy correlacionadas (0.8) y por lo tanto no aportan nueva información, hecho que hace que no coincidan en un mismo modelo. Las ecuaciones E.1 y E.2 muestran los modelos logísticos que han obtenido mejores valores de AIC (valores más bajos de AIC significa que se minimiza la pérdida de información) y de área bajo la curva ROC (RA) (valores cercanos al 1 significa que

el modelo tiene más posibilidades de discernir entre episodio con daños por encima del percentil dado o no):

$$M1: \log\left(\frac{\pi}{1-\pi}\right) = \beta_0 + \beta_1 \cdot P + \beta_2 \cdot U + \beta_3 \cdot S, \quad (E.1)$$

$$M2: \log\left(\frac{\pi}{1-\pi}\right) = \beta_0 + \beta_1 \cdot P + \beta_2 \cdot S + \beta_3 \cdot G, \quad (E.2)$$

Donde π es la variable respuesta (en nuestro caso la probabilidad de que se supere un determinado percentil de daños), P es la precipitación máxima acumulada en 30 minutos, U es la proporción de zona urbana, S es la pendiente media y G el PIB. Los coeficientes β se han estimado utilizando modelos lineales generalizados (GLM). El estadístico de Wald se utiliza para determinar la significancia estadística de cada uno de los coeficientes de regresión (ver Cortès et al., 2018, para más detalles).

Dado que los resultados son muy parecidos para ambos modelos se decide escoger el modelo M1 debido a la facilidad de disponibilidad de datos de todas la variables para las dos regiones de estudio, ya que el PIB no se encuentra disponible en la Comunidad Valenciana para todo el periodo de estudio.

Una vez decidido el modelo, los casos de estudio se han dividido en dos muestras tanto para Cataluña como para la Comunidad Valenciana en función de la precipitación en 30 minutos (> 10 mm y > 20 mm). Estos umbrales han sido escogidos basándose en estudios previos (Cortès et al. 2017, 2018) donde se demuestra que por encima de ellos suelen producirse inundaciones en Cataluña. En el presente estudio sólo se presentan los resultados obtenidos con el umbral de 10 mm, aunque los resultados para el umbral de más de 20 mm en 30 minutos son muy parecidos.

2.2.c. Método de validación

Para validar el modelo logístico se han llevado a cabo los diagramas ROC (Relative Operating Characteristic). Este es un método utilizado comúnmente para la diagnosis de la predicción logística y en el que se muestra el ratio de verdaderos positivos (H) o sensibilidad (es decir, el número de veces que un evento se ha predicho y ha tenido lugar) versus el ratio de falsos positivos (F) o inverso de la especificidad (es decir el número de veces que se ha predicho que un evento tendría lugar cuando no ha sucedido, también denominado como “falsas alarmas”).

Finalmente, como método de validación, al mismo tiempo que de aplicación del modelo, se han analizado dos episodios de inundaciones que tuvieron lugar en dos cuencas de las dos regiones de estudio: Maresme (octubre 2016) y Marina alta (noviembre 2007).

3. RESULTADOS

3.1. Modelo logístico

Dentro del periodo 1996-2015 se han registrado 166 episodios de inundaciones en Cataluña, resultando en un total de 642 casos, de los cuales, 369 registraron una precipitación máxima en 30 minutos superior a 10 mm. Para el mismo periodo, la Comunidad Valenciana ha registrado un total de 66 episodios de inundaciones (69 si tenemos en cuenta las cuencas que no pertenecen al CHJ), resultando en un total de

171 casos, de los cuales 132 registraron un precipitación por encima de los 10 mm en 30 minutos.

En el caso de Cataluña los resultados muestran que el modelo es capaz de simular la probabilidad de que se produzcan daños por encima de un umbral escogido en función de las variables explicativas seleccionadas, siendo la precipitación de 30 minutos la más importante de las tres. La Figura 1 muestra la probabilidad por encima y debajo del percentil 70th de daños (246,944.33 €) en función de la precipitación. Como era de esperar esta probabilidad aumenta con la precipitación.

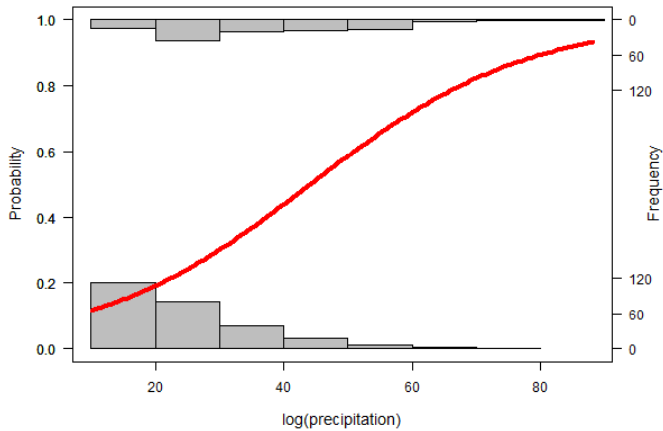


Figura 1. Ejemplo del modelo logístico para el percentil 70th de daños en Cataluña.

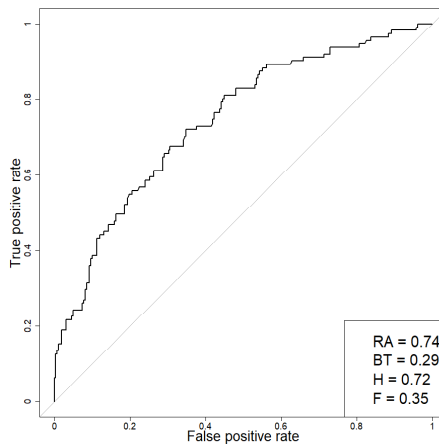


Figura 2. Diagrama ROC para el percentil de daños del 70th para Cataluña. Los valores dentro del gráfico representan el área debajo de la curva (RA), el mejor umbral (BT), el "Hit rate" (H) y el "False alarm" (F) para ese valor BT.

En la Figura 2 se observa el diagrama ROC (Relative Operating Characteristic) para el mismo ejemplo. Los distintos valores que se indican en el gráfico muestran: el área debajo de la curva (RA), que es una buena medida de síntesis de la bondad de ajuste del modelo; el mejor umbral (BT), que es el umbral de probabilidad para el cual la H y la F están más distanciados; el ratio de verdaderos positivos o “Hit rate” (H) y el ratio de falsos positivos o falsas alarmas (F) para ese BT.

La elección del umbral depende del usuario. Por ejemplo, el usuario puede decidir actuar cuando hay una probabilidad del 10% de que se supere un percentil de daños determinado (p.ej. del 70th). En este caso el valor de H será muy elevado (próximo a 1), ya que la mayoría de los eventos serán pronosticados. Sin embargo, habrá un gran cantidad de falsas alarmas, es decir, casos que no se han observado pero sí pronosticado (F). Al contrario, si se escoge un umbral elevado, habrá una reducción de las falsas alarmas pero aumentarán los casos no pronosticados pero que sí que hayan tenido lugar (casos perdidos). Para validar el modelo consideramos los diagramas ROC, específicamente el valor del área debajo de la curva (RA). Los valores del área bajo la curva de ROC están entre 0 (todo falsas alarmas) y 1 (un predicción perfecta). Valores de RA por encima de 0.5 indican que la predicción del modelo es mejor que una predicción al azar. En el ejemplo de la Figura 2, el RA presenta un valor (0.74) bastante por encima del 0.5, demostrando que el modelo tiene una buena bondad de ajuste. El BT se sitúa a 0.29, indicando que si se quiere maximizar la diferencia entre el ratio de verdaderos positivos y el de falsos positivos la probabilidad deberá ser superior a 0.29, con una $H=0.72$ y una $F=0.35$. En la Tabla 2 se resumen los resultados del modelo logístico para cada percentil de daños considerado en el caso de Cataluña. Los resultados que se muestran son los de los mejores modelos para cada uno de los percentiles de daños, primero considerando que los coeficientes sean significativos y después con un valor de RA mayor.

Percentil	β_0	β_1	β_2	β_3	RA
10	-4.69	1.82	0.32	1.25	0.73
20	-5.05	1.8	0.4	1.08	0.73
30	-5.23	1.93	-	-	0.74
40	-5.23	1.76	-	-	0.72
50	-5.73	1.78	-	-	0.72
60	-6.5	1.87	-	-	0.73
70	-6.75	2.02	0.32	-	0.74
80	-8.53	2.35	0.32	-	0.78
90	-12	2.83	-	-	0.82

Tabla 2. Resultados de los modelos logísticos para los distintos percentiles de daños en Cataluña. Los valores de β_0 , β_1 , β_2 , y β_3 son los coeficientes del modelo logístico (por orden: intercepción, precipitación, zona urbana y pendiente). RA representa el área debajo de la curva ROC.

Como se puede observar todos los valores de RA están por encima del 0.7, indicando que el modelo tiene buen ajuste. También se observa que para percentiles de daños pequeños (percentiles 10th y 20th) las características de la cuenca juegan un papel

importante. Para inundaciones que puedan provocar grandes daños (percentiles altos), la precipitación es la variable más influyente (y algunas veces también la proporción de zona urbana).

El mismo análisis se ha llevado a cabo para la Comunidad Valenciana. La Figura 3 muestra como la probabilidad de que se supere el percentil de daños del 70th (1,892,286.74 €) aumenta con la precipitación en 30 minutos, resultados muy parecido a los de Cataluña. El diagrama ROC del ejemplo se puede observar en la Figura 4, con un valor de RA muy elevado (0.8), indicando que el modelo funciona mejor para esta región. Esta mejora se puede observar para todos los percentiles de daños (Tabla 3).

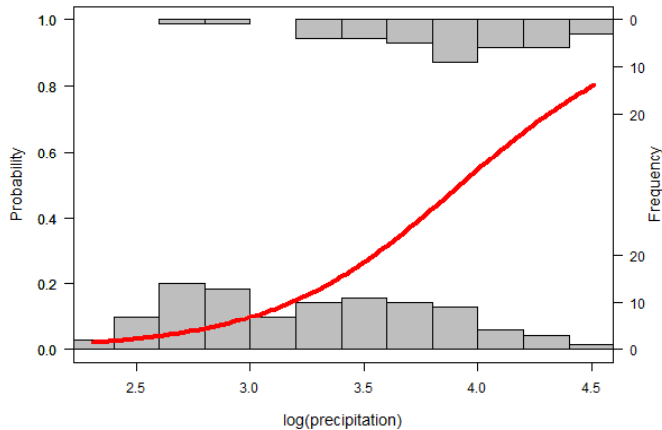


Figura 3. Ejemplo del modelo logístico para el percentil 70th de daños en la Comunidad Valenciana.

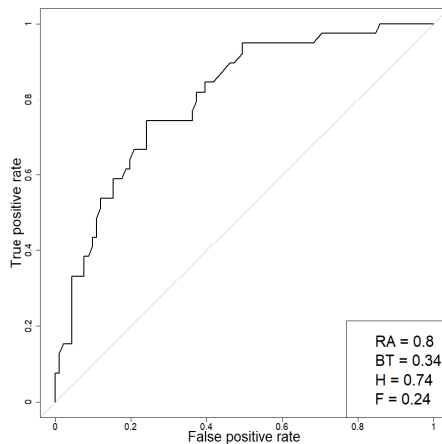


Figura 4. Diagrama ROC para el percentil de daños del 70th para la C.Valenciana. Los valores dentro del gráfico representan el área debajo de la curva (RA), el mejor umbral (BT), el "Hit rate" (H) y el "False alarm" (F) para ese valor BT.

En el caso de los coeficientes de las variables explicativas, se observan algunas diferencias entre las dos regiones. En el caso de la Comunidad Valenciana la precipitación es la variable dominante para la mayoría de los modelos. Sin embargo, en algunos percentiles también se observa la aportación significativa de la pendiente y la zona urbana, aunque con signo opuesto a los coeficientes para Cataluña, por lo que tanto la zona urbana como la pendiente están inversamente relacionadas con la probabilidad de que se superen determinados daños, probablemente como consecuencia de la importancia de la proximidad a la costa.

Percentil	β_0	β_1	β_2	β_3	RA
10	-4.12	1.98	-	-	0.76
20	-5.1	2	-	-	0.77
30	-5.45	1.9	-	-	0.76
40	-7.05	2.21	-	-	0.79
50	-3.9	1.84	-	-1.37	0.78
60	-5.04	1.92	-0.86	-2.26	0.8
70	-9.41	2.4	-	-	0.8
80	-10.12	2.4	-	-	0.8
90	-10.79	2.33	-	-	0.79

Tabla 3. Resultados de los modelos logísticos para los distintos percentiles de daños en Comunidad Valenciana. Los valores de β_0 , β_1 , β_2 , y β_3 son los coeficientes del modelo logístico (por orden: intercepción, precipitación, zona urbana y pendiente), todos significativos (p -value < 0.05). RA representa el área debajo de la curva ROC.

3.2. Casos de estudio: ejemplo de aplicación del modelo

Se han seleccionado dos casos de estudio, uno de cada una de las regiones, para validar y aplicar el modelo en casos reales. Los dos episodios tuvieron lugar en cuencas muy vulnerables a las inundaciones y que han registrado un gran número de episodios entre 1996 y 2015 (rieras del Maresme, Cataluña: 66 episodios; Marina Alta, Comunidad Valenciana: 32 episodios). Para cada una de estas cuencas se ha diseñado un modelo específico teniendo en cuenta los episodios que tuvieron lugar. En el caso de Cataluña, se ha elegido el episodio del octubre de 2016, que afectó la cuenca de las rieras del Maresme. El episodio registró el récord de precipitación acumulada en 30 minutos en las estaciones del SMC (84.4 mm), y el CCS pagó alrededor de 3.6 M€ en indemnizaciones en esta cuenca. El episodio seleccionado para la Comunidad Valenciana que afectó a la cuenca de la Marina Alta es el que tuvo lugar en octubre de 2007. La precipitación máxima acumulada en 30 minutos fue de 77.5 mm y los daños en indemnizaciones superaron los 50 M€ en esta cuenca.

El modelo para las rieras del Maresme se muestra en la Ecuación 3, cogiendo como ejemplo el percentil 90th. Como se trata de solo una cuenca no se han considerado las variables de zona urbana y pendiente, ya que no varían:

$$\log\left(\frac{\pi}{1-\pi}\right) = -13.43 + 3.35 \cdot P, \quad (E.3)$$

Si sustituimos en la ecuación la precipitación máxima en 30 minutos que se registró en el episodio (84.4 mm), los resultados indican que existe una probabilidad del 81% que se supere el percentil de daños del 90th (en el caso de la cuenca de las rieras del Maresme: 834,768 €). En la Ecuación 4 (E.4) se muestra el caso del modelo para la cuenca de la Marina Alta, con el mismo percentil de daños:

$$\log\left(\frac{\pi}{1-\pi}\right) = -30.19 + 7.03 \cdot P, \quad (E.4)$$

Los resultados indican que con la precipitación máxima acumulada en 30 minutos que se registró en la cuenca (77.5 mm) hay una probabilidad del 60% de superar el percentil 90th de daños (en el caso de la cuenca de la Marina Alta: 2.6 M€). En este caso, al disponer de menos observaciones (muestra menor), el ajuste del modelo no es tan bueno como en el caso de Cataluña y los resultados son menos fiables. Además, se debe tener en cuenta que la mayor parte de pérdidas económicas en esta región están más condicionadas por la precipitación acumulada que por intensidad.

4. DISCUSIÓN

El Mediterráneo es un área afectada frecuentemente por episodios de inundaciones que producen grandes daños socioeconómicos. Las dos regiones de estudio son propensas a estos episodios, la mayoría causados por eventos locales con elevadas intensidades de precipitación (Llasat et al., 2016). Se ha elaborado un modelo logístico múltiple para estimar la probabilidad que se produzcan daños por encima de un umbral escogido a partir de un valor de precipitación de 30 minutos determinado, y considerando también la proporción de zona urbana de la cuenca y su pendiente promediada.

Los resultados obtenidos muestran como el modelo tiene una buena bondad de ajuste, siendo mejores en el caso de la Comunidad Valenciana y mejorando el modelo logístico con la precipitación acumulada en 24h como única variable explicativa (Cortès et al. 2018). Un aumento en la precipitación en 30 minutos provoca un aumento en la variable respuesta del modelo, como cabría esperar. Sin embargo, se han encontrado diferencias entre las regiones para las otras dos variables explicativas. En el caso de Cataluña, tanto la zona urbana como la pendiente están correlacionadas positivamente, indicando que una cuenca con elevada proporción de zona urbana y pendiente, tendrá una probabilidad de que se produzca un evento con grandes daños superior a una cuenca llana y menos urbanizada. En el caso de la Comunidad Valenciana, la precipitación acumulada en 30 minutos es la variable más significativa, y sólo para dos percentiles la zona urbana y sobre todo la pendiente son significativas. Sin embargo, estos coeficientes son de signo opuesto a los de Cataluña, mostrando que las cuencas donde hay probabilidades mayores de producirse daños son las cuencas más llanas y menos urbanizadas. Una posible explicación de estos resultados sería que la mayoría de los episodios en la Comunidad Valenciana se registran en la costa, donde las cuencas tienen poca pendiente. Al contrario, Cataluña, al disponer de la cordillera litoral y prelitoral y de ser cuencas con una menor superficie, las cuencas costeras tienen pendientes más elevadas, y es justamente donde se registran más episodios de inundaciones.

Nuestro resultados, además de corroborar la hipótesis de que la precipitación es un factor muy relevante para la estimación de los daños de inundaciones en las dos regiones de estudio, también demuestran la importancia de los datos de aseguradoras para el análisis de los daños de las inundaciones, coincidiendo con otros estudios previos (Barredo et al., 2012; Garrote et al., 2016). Las relaciones encontradas entre la precipitación y los datos de aseguradoras, proporcionan una base para predecir los posibles daños monetarios de inundaciones en escenarios futuros de cambio climático.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido desarrollado en el marco de los proyectos nacionales HOPE (CGL2014-52571-R) y M-CostAdapt (CTM2017-83655-C2-2-R) del Ministerio de economía, industria y competitividad. Se ha llevado a cabo en el marco de programa HyMeX (HYdrological cycle in the Mediterranean EXperiment) y con la ayuda del Instituto de Investigación del Agua (IdRA). Queremos agradecer a SMC, CHJ, AEMET, IDESCAT y CCS para la información proporcionada. Marco Turco dispone de una ayuda Juan de la Cierva (IJCI-2015-26953).

REFERENCIAS

- Barredo, J. I., Saurí, D., and Llasat, M. C. (2012). Assessing trends in insured losses from floods in Spain 1971–2008, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 12, 1723–1729, <https://doi.org/10.5194/nhess-12-1723-2012>
- Bernet, D. B., Prasuhn, V., and Weingartner, R. (2017). Surface water floods in Switzerland: what insurance claim records tell us about the damage in space and time, *Nat. H. Earth Syst. Sci.*, 17, 1659–1682, <https://doi.org/10.5194/nhess-17-1659-2017>
- Cortès, M., Llasat, M. C., Gilabert, J., Llasat-Botija, M., Turco, M., Marcos, R., Martín Vide, J. P. and Falcón, L. (2017). Towards a better understanding of the evolution of the flood risk in Mediterranean urban areas: the case of Barcelona, *Nat. Hazards*, 1–22. <https://doi.org/10.1007/s11069-017-3014-0>
- Cortès, M., Turco, M., Llasat-Botija, M., and Llasat, M. C. (2018). The relationship between precipitation and insurance data for floods in a Mediterranean region (northeast Spain), *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 18, 857–868. <https://doi.org/10.5194/nhess-18-857-2018>
- Garrote, J., Alvarenga, F. M., and Díez-Herrero, A. (2016). Quantification of flash flood economic risk using ultra-detailed stage-damage functions and 2-D hydraulic models, *J. Hydrol.*, 541, 611–625. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.02.006>
- Llasat, M. C., Llasat-Botija, M., and López, L. (2009). A press database on natural risks and its application in the study of floods in Northeastern Spain, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 9, 2049–2061. <https://doi.org/10.5194/nhess-9-2049-2009>
- Llasat, M. C., Llasat-Botija, M., Petrucci, O., Pasqua A. A., Rosselló, J., Vinet, F., Boissier, L. (2013). Towards a database on societal impact of Mediterranean

- floods in the framework of the HYMEX project. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 13, 1337-1350. <https://doi.org/10.5194/nhess-13-1337-2013>
- Llasat, M. C., Marcos, R., Turco, M., Gilabert, J., and Llasat-Botija, M. (2016). Trends in flash flood events versus convective precipitation in the Mediterranean region: The case of Catalonia, *J. Hydrol.*, 541, 24–37, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.05.040>
- Spekkers, M. H., Clemens, F. H. L. R., and ten Veldhuis, J. A. E. (2015). On the occurrence of rainstorm damage based on home insurance and weather data, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 15, 261–272. <https://doi.org/10.5194/nhess-15-261-2015>
- Turco, M., Llasat, M. C. (2011). Trends in indices of daily precipitation extremes in Catalonia (NE Spain), 1951–2003. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 11, 3213-3226, <https://doi.org/10.5194/nhess-11-3213-2011>