

HACIA UNA CLASIFICACIÓN DE LAS INUNDACIONES: DEL IMPACTO A LA EVALUACIÓN CUANTITATIVA

Joan GILABERT, Montserrat LLASAT-BOTIJA, Raül MARCOS, M. Carmen LLASAT
Grupo GAMA, Departamento de Astronomía y Meteorología, Universidad de Barcelona
jgilabert@am.ub.es

RESUMEN

El análisis de la evolución histórica de las inundaciones se basa principalmente en la obtención e interpretación de informes municipales, eclesiásticos, documentos diversos oficiales y privados y la prensa. El uso de estas fuentes permite estimar el impacto de las inundaciones clasificando el evento según su severidad (catastrófico, extraordinario y ordinario). Sin embargo, aunque no existen muchos estudios, es posible comparar las series de caudal y precipitación con las series históricas de inundación, lo que permite evaluar y validar la calidad de las diferentes series, e identificar el papel de otras variables en los impactos y buscar una relación cuantitativa para las diferentes categorías. El estudio que aquí se presenta parte de las bases de datos de inundaciones INUNGAMA (1900-2010), PRESSGAMA (1981-2010) y la serie histórica (des del s. XIV) desarrollada en el proyecto SPHERE y actualizada hasta el presente. Se han utilizado series de caudal y precipitación para las cuencas de estudio, Ter y Muga. Homogeneizadas dichas series se han analizado sus tendencias mediante los métodos Mann-Kendall y el Monte Carlo propuesto por Turco y Llasat (2011). A su vez se ha realizado un estudio de frecuencias para calcular los períodos de retorno de las inundaciones. En definitiva, este capítulo presenta una aproximación *bottom-up* que ha permitido caracterizar e identificar nuevos umbrales para la clasificación de inundaciones a partir de estas relaciones cuantitativas. A la luz de este estudio se ha puesto de manifiesto la necesidad de definir una nueva categoría para los eventos más extremos, la elevada frecuencia de los episodios catastróficos y la propuesta de unos criterios objetivos para la clasificación y cuantificación de eventos.

Palabras clave: inundaciones, clasificación de inundaciones, umbrales, períodos de retorno, series pluviométricas, series de caudal, tendencias.

ABSTRACT

The analysis of the historical evolution of floods is mainly based on the collection and interpretation of municipal reports, ecclesiastical archives, private and official documentary sources and press. The use of these sources allows us to estimate and classify the impact of floods according to its severity (catastrophic, extraordinary and ordinary). However, even the scarcity of such studies it is possible to compare flow and precipitation daily series with historical floods databases. In such a way both kinds of

data can be evaluated and validated offering the possibility to study the roll of other variables on the impacts and find a quantitative relation to the different categories. The presented study departs from the flood databases INUNGAMA (1900-2010), PRESSGAMA (1981-2010) and historical series (since s. XIV) developed in SPHERE Project and updated until the present day. We have also used flow data and precipitation data for basins of Ter and Muga rivers. Once the process of data homogenization has been done, we have analysed its trends through Mann-Kendall and Monte Carlo (Turco and Llasat, 2011) methods. In turn we have done a frequency study to calculate the return periods of floods. Consequently this chapter presents a *bottom-up* approach that has allowed the identification of new thresholds of flood classification from quantitative values. This last result points out the need to create a new category in the classification of floods reserved to the most extreme events, the high frequency of catastrophic events and the purpose of some objective criteria to classify and quantify flood events.

Key words: floods, flood classification, thresholds, return periods, rainfall series, flow series, trends.

1. INTRODUCCIÓN

Las inundaciones constituyen el principal riesgo natural en el mundo (UNISDR, 2009). En media, más de 280 desastres son causados por inundaciones y tormentas cada año, en comparación con los 31 desastres asociados a terremotos, y más de 105.000.000 personas son afectadas por inundaciones. Según el *Flood Risks to People* (DEFRA), en el siglo XX el 12% de las víctimas mortales causado por desastres naturales han sido consecuencia de las inundaciones, habiéndose registrado entre 1980 y 2000 un total de 170.000 víctimas (Dao y Peduzzi, 2004). En España las inundaciones también constituyen el principal riesgo natural, y así, el 62% de los pagos hechos por el Consorcio de Compensación de Seguros (CCS) entre 1971 y 2000 fueron por inundaciones.

El Mediterráneo español, y en particular Cataluña constituye una de las regiones más expuestas a inundaciones. La última inundación catastrófica se registró en junio de 2013 en el Valle de Arán produciendo unos daños aproximados de 20 millones de euros (CCS). En Cataluña el Plan INUNCAT frente las inundaciones, incluye cartografía del riesgo, según el cual más del 40% de los municipios tendrían riesgo alto o muy alto de inundación. De acuerdo con él, la Agencia Catalana del Agua (ACA) está elaborando los Planes de Espacios Fluviales (PEFCAT) que contienen también cartografía del riesgo más detallada para cada cuenca.

La reconstrucción de bases de datos (BBDD) históricos permite analizar su evolución temporal así como su distribución en el territorio y clasificarlas según su impacto. Este tipo de clasificación se ha usado frecuentemente sobre las inundaciones históricas y presentes (Barriandos *et al.*, 2003; Llasat *et al.*, 2005; Barrera *et al.*, 2006; Barnolas y Llasat, 2007; Llasat *et al.*, 2014). El mismo criterio también se ha usado para construir la Base de Datos FLOODHYMEX (Llasat *et al.*, 2013) para todas las inundaciones del Mediterráneo Occidental desde 1981 hasta 2010. Sin embargo esta clasificación, no permite cuantificar numéricamente el impacto y solo usa indicadores descriptivos. Con

la finalidad de abordar el problema, el presente estudio se focalizará en establecer umbrales cuantitativos para la clasificación de las inundaciones. A partir de series diarias de precipitación y de caudal y las BBDD de inundaciones, se propone una metodología basada en su estudio estadístico, de esta manera podremos establecer diversos parámetros numéricos que permitirán clasificar las inundaciones de forma más precisa.

El siguiente capítulo se divide en un apartado de descripción del área de estudio dónde también se explica cuales son los datos utilizados. Seguidamente se expone la metodología y cuales han sido los criterios y técnicas utilizadas para esta clasificación. El apartado 4 contempla los resultados y el capítulo se cierra con unas conclusiones generales.

2. AREA DE ESTUDIO Y DATOS

2.1- Zona de estudio:

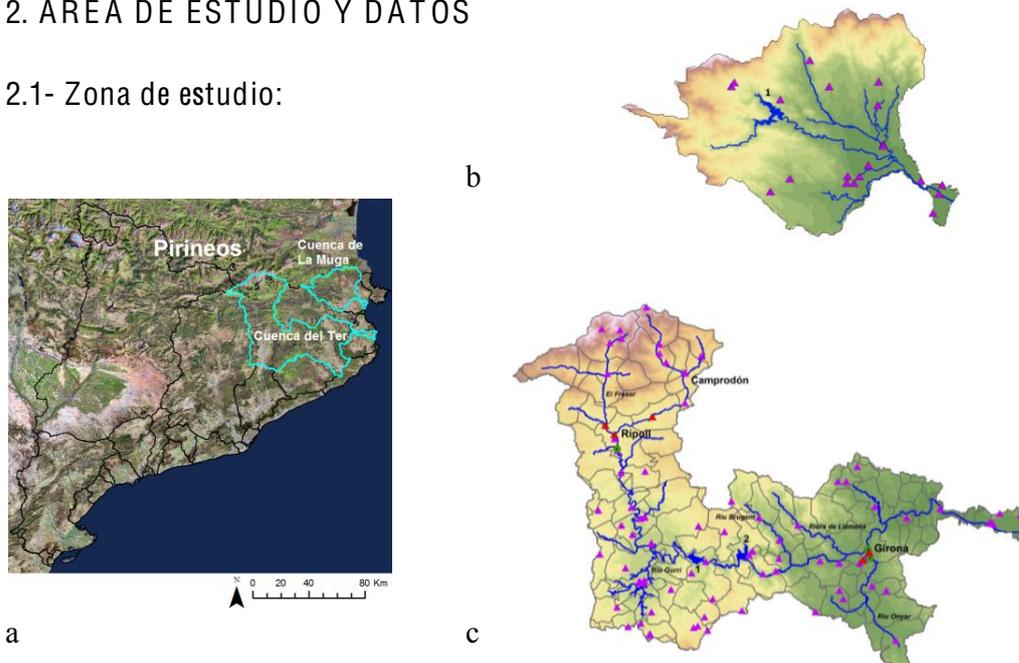


Fig. 1: a) Mapa de Cataluña indicando las dos cuencas de estudio, b) Cuenca de la Muga con los pluviómetros e indicando el embalse de la Boadella (1), c) Cuenca del Ter con sus pluviómetros y aforos e indicando los embalses de Sau (1) y Susqueda (2).

La zona de estudio se centra en dos cuencas hidrográficas de las Cuencas Internas de Cataluña (CIC), correspondientes a los ríos Ter y la Muga. El primero, nace en Ulldeter en la comarca pirenaica del Ripollès y desemboca en el Mediterráneo en Torroella de Montgrí (Tabla 1). En la zona media de la cuenca se sitúan diversos embalses de dimensiones relativamente importantes (Tabla 2). Para el presente estudio se han seleccionado tres poblaciones importantes de la cuenca, para las que además se dispone de información histórica (Llasat *et al.*, 2005). Los puntos singulares son: Girona, como ciudad (97.000 hab.) en la zona media de la cuenca situada después de los embalses y Ripoll (11.000 hab.) y Camprodon (2.500 hab.) como pueblos de montaña situados en el Prepirineo y Pirineo Oriental respectivamente. En la ciudad de Girona, se ha trabajado con los caudales del Ter y también de su afluente Onyar que atraviesa la ciudad y ha

sido, históricamente, el que ha causado más inundaciones. Desde 1970 este río está canalizado. El río Onyar nace en el municipio de Brunyola, en las Guillerries y su cuenca comprende la mitad norte del Pla de la Selva. Girona también es atravesada por otros afluentes menores; el Galligants y el Güell.

La segunda zona de estudio se centra en la Muga, un río de dimensiones menores, nace en el Montnegre (Vellespir) desemboca en Castelló d'Empúries. Cabe destacar que dispone de un embalse, el de la Boadella que es el punto seleccionado para el estudio.

Río	Longitud (km)	Caudal medio (m ³ /s)	Sup. (km ²)	Desnivel (m)	Pendiente media (%)
Ter	208	25,00	3010,5	2400	1,15
Onyar	34	1,82	340,7	150	0,44
Muga	58	3,34	853,8	1214	2,09

Tabla 1: CARACTERÍSTICAS DE LOS RÍOS.

Embalses	Capacidad (hm ³)	Superficie (ha)	Área de captación (km ²)	Año de creación
Sau (Ter)	151	573	1522	1962
Susqueda (Ter)	233	466	1775	1968
Pasteral (Ter)	2	35	23	1905
Colomers (Ter)	1	70	-	1970
Boadella (Muga)	60	363	182	1969

Tabla 2: EMBALSES DE LAS CUENCAS DE ESTUDIO.

2.2- Bases de datos de inundaciones:

La realización del estudio parte de las BBDD de inundaciones siguientes:

- INUNGAMA: contiene un total de 375 inundaciones registradas en Cataluña desde 1900 hasta 2010 (Barnolas y Llasat, 2007; Llasat *et al.*, 2013). Dicha BBDD está asociada a un GIS que permite cartografiarlas, contiene información sobre inundaciones extraídas de noticias de prensa, informes técnicos, artículos científicos, otras bases de carácter local, etc. Las inundaciones se han clasificado según su severidad ya que mediante las fuentes anteriormente nombradas, como se ha dicho, se puede estimar el impacto.
- PRESSGAMA: incluye más de 15.000 noticias relacionadas con los riesgos naturales y el cambio climático, publicadas entre 1981 y 2010 y con información detallada de cada evento de inundación (Llasat *et al.*, 2009).
- HISTOGAMA: series de inundaciones desde el siglo XIV, desarrollada principalmente en el Proyecto Europeo SPHERE (Benito *et al.*, 2004; Llasat *et al.*, 2005) y actualizada hasta el 2012 para los ríos Ter, Llobregat y Segre.

2.3- Datos de precipitación y caudal:

Para realizar el análisis cuantitativo que ha permitido calcular los períodos de retorno, las tendencias, la precipitación areal y la distribución de los umbrales se han utilizado

datos diarios de caudal medio y precipitación para el período 1912-2011 (Fig. 1). Los datos pluviométricos han sido facilitados por la Agencia Española Meteorológica (AEMET) y el Servei Meteorològic de Catalunya (SMC).

Para los datos de caudal medio se han usado también las series diarias de tres puntos de la cuenca del río Ter y uno de la Muga para los mismos períodos de tiempo, exceptuando este último (Fig.1). Los datos han sido proporcionados por la Agencia Catalana del Agua (ACA) y el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX).

3. METODOLOGIA

La clasificación de las inundaciones a partir del impacto es la más utilizada cuando se quieren hacer estudios de inundaciones históricas a escala secular, como por ejemplo la evolución de las inundaciones en Cataluña desde el siglo XV (Barriendos y Martín-Vide, 1998, Llasat *et al.*, 2005, Barnolas y Llasat, 2007). Usualmente se considera las definiciones siguientes:

- *Inundación ordinaria (0)*: es la que se produce cuando el caudal del río aumenta de tal forma que puede alterar el ritmo de vida cotidiano, afectar infraestructuras no permanentes situadas en el río o invadir pasos para el cruce del río. Sin embargo no produce daños materiales mayores.
- *Inundación extraordinaria (1)*: se produce cuando el río se desborda y aunque afecta el desarrollo de la vida ordinaria y produce algunos daños, no genera destrucción completa de infraestructuras. Estas inundaciones pueden ser locales o muy extensas.
- *Inundación catastrófica (2)*: aquella que produce pérdidas materiales graves, como destrucción total o parcial de puentes, molinos u otras infraestructuras, pérdidas de ganado y cosechas.

La severidad de las inundaciones se establece a partir de la selección de indicadores que puedan describir qué tipo de inundación se le atribuye a cada evento. Los indicadores seleccionados para este estudio se han basado en una simplificación de los propuestos por Petrucci *et al.*, 2013 y que ya se han aplicado en la base de datos FLOODHYMEX (Llasat *et al.*, 2013).

Una vez identificados y clasificados los eventos de inundación que han afectado a las diferentes cuencas de estudio, se ha analizado la precipitación y caudal del día que se produce la avenida y los días previos. Esto también ha sido útil para validar la base de datos y efectuar las modificaciones necesarias.

Se ha buscado una posible relación entre las diferentes categorías, el caudal y la precipitación a partir de la distribución de frecuencias, tanto usando diagramas *boxplot* como percentiles. Para calcular la distribución en percentiles de la precipitación, se ha filtrado la serie diaria a partir del valor más bajo que ha causado una inundación ordinaria. Para los caudales se ha filtrado la serie a partir del valor más bajo de las inundaciones extraordinarias, ya que en las ordinarias no hay desbordamiento. Este apartado también ha sido útil para validar la base de datos e identificar puntos anómalos en la distribución.

El cálculo de la precipitación areal o media de la cuenca se ha hecho a partir del método de isoyetas mediante la interpolación geoestadística *Kriging* (Isaaks y Srivastava, 1989) de los pluviómetros de cada una de las cuencas de estudio (Fig. 2).

Para calcular las tendencias de las series y compararlas se han usado dos metodologías para poder dar robustez y más significatividad a los resultados. Los métodos elegidos han sido el de *Mann-Kendall* (Mann, 1945; Kendall, 1975) y el método *Monte Carlo* modificado (Turco y Llasat, 2011). Este último se basa en hacer una reordenación y partición de la serie en distintas muestras reconstruidas de la serie original.

Los períodos de retorno se han obtenido mediante la *distribución de Gumbel* (Haan, 1977; Shaw, 1983), a partir de los máximos anuales de caudal y precipitación de las series.

4. RESULTADOS

Para hacer el estudio se han analizado un total 91 inundaciones. En el período 1912-2011 53 se han dado en Girona y 15 en Ripoll y Camprodon, siendo las catastróficas un 9% y 33% respectivamente. En el caso de la Boadella se han identificado 19 inundaciones en el período 1971-2011, el 11% de las cuáles catastróficas.

Para poder clasificar las inundaciones se ha analizado en primer lugar su comportamiento interanual y anual para comparar las posibles tendencias existentes en las distintas series (Fig. 2).

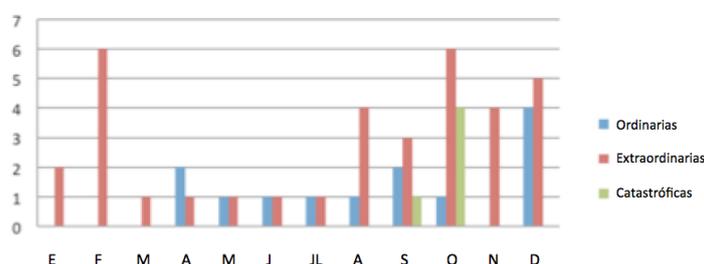


Fig. 2: Distribución mensual de las inundaciones en Girona por categorías (1912-2011).

Las inundaciones catastróficas en Girona se han producido en otoño y las inundaciones extraordinarias transcurren principalmente entre agosto y diciembre. Las ordinarias, por otra parte, abarcan un período temporal mayor que empieza en primavera, debido a que pueden ser causadas por lluvias continuas más estratiformes. Este comportamiento lo podemos generalizar para ambas cuencas de estudio así como para Cataluña (Llasat *et al.*, 2014).

La evolución anual de las inundaciones para las dos cuencas no presenta tendencias significativas robustas (para ambos métodos), aun así aplicando el test de Monte Carlo en las inundaciones extraordinarias de Girona, observamos una pequeña disminución de 0.11 inundaciones/década con una significatividad del 95%. En la figura 3 podemos ver la evolución de las inundaciones por categorías y por localidades para el período 1912-

2011. Vemos que en Girona, después de hacer las obras de canalización del río Onyar, las inundaciones catastróficas disminuyeron. También podemos observar que con la sistematización y actualización diaria de la prensa de la BBDD INUNGAMA se identificaron más inundaciones ordinarias.

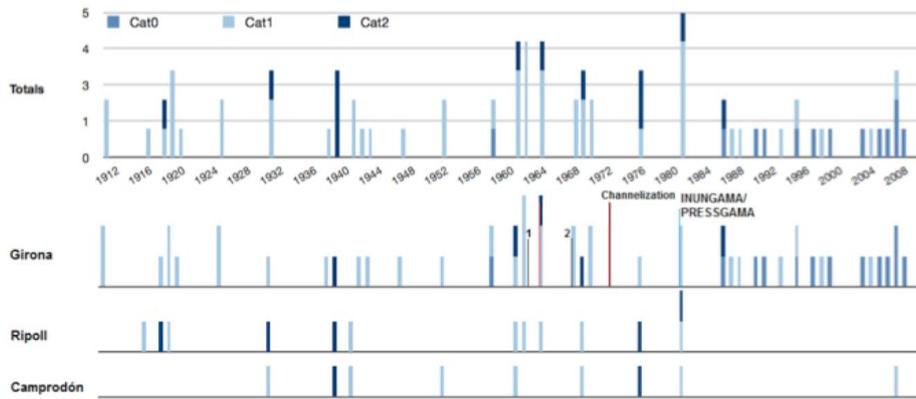


Fig. 3: Inundaciones totales por categorías y por zonas de estudio en la cuenca del Ter y sus actuaciones (1912-2011).

Tampoco existen tendencias para las series de precipitación areal y puntual y de caudal en los ríos Ter y la Muga. En las series de caudal del Ter, se puede observar mediante una inspección visual una oscilación de cuarenta años que podría estar relacionada con causas climáticas y que se puede intuir para cada una de las series de caudal estudiadas. La oscilación estaría acorde con otros estudios como el de Llasat *et al.*, 2005.

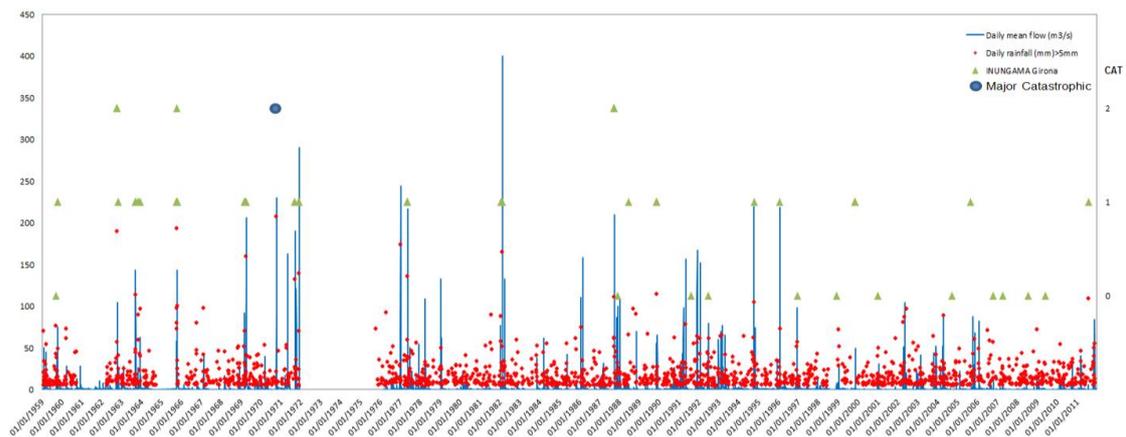


Fig. 4: Inundaciones por categorías, caudal diario y precipitación diaria en el Río Onyar en Girona (1959-2011).

Se han seleccionado los casos de inundaciones para relacionarlos con las series de caudal y precipitación. En la figura 4 podemos ver un compendio de las series de caudal y precipitación reflejando las inundaciones categorizadas en el río Onyar.

En la figura 5a y 5b nos muestra la relación entre caudal y precipitación de las inundaciones en los puntos de estudio del Ter. Se observa una relación aproximadamente lineal entre caudal y precipitación. Los coeficientes de correlación al 95% de significatividad son de 0,73 y 0,79 en Girona i Ripoll y 0,70 en la Boadella.

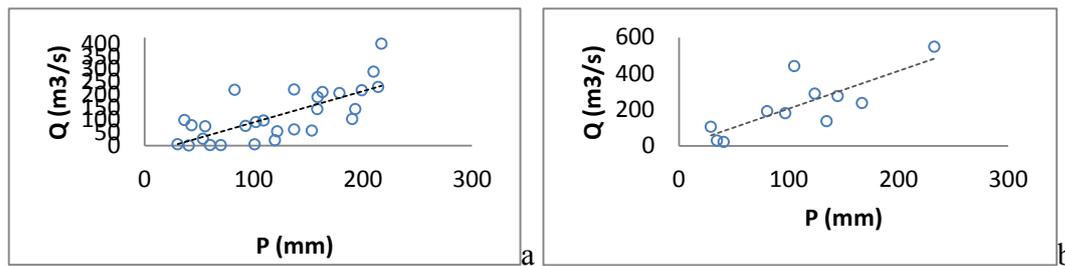


Fig. 5: Relación entre caudal y precipitación en las inundaciones en a) Girona y b) Ripoll.

Los umbrales se han representado mediante diagramas *boxplot* (Fig. 6a y 6b) para los caudales y la precipitación (areal y puntual) analizados. Podemos observar como la clasificación de las inundaciones se ajusta mejor en los diagramas de precipitación. Aun así en todos los casos la distribución de las medianas y la posición de los cuartiles describen una relación lineal positiva entre las categorías/caudales y categorías/precipitación. Los umbrales extraídos de los *boxplots* para las diferentes regiones son los siguientes que se muestran en la tabla 3:

	Extraordinarias		Catastróficas	
	Q (m3/s)	P (mm)	Q (m3/s)	P (mm)
Girona (Ter)	>100	>80	>160	>160
Ripoll (Ter)	>100	>100	>200	>170
Boadella (Muga)	>50	>60	>200	>90

Tabla 3: CANTIDADES MÍNIMAS DE PRECIPITACIÓN (P) Y CAUDAL (Q) PARA LOS TRES PUNTOS DE ESTUDIO LAS CUALES SE HAYA PRODUCIDO INUNDACIÓN EXTRAORDINARIA Y CATASTRÓFICA.

El hecho de que el umbral inferior de caudal del Onyar (Fig. 7b) sea muy bajo (caudal normal medio) es consecuencia de 5 casos que fueron evaluados como extraordinarios,

fueron causa principalmente de lluvia in situ o granizo, provocando un impacto relativamente importante, este hecho plantea una revisión de criterios.

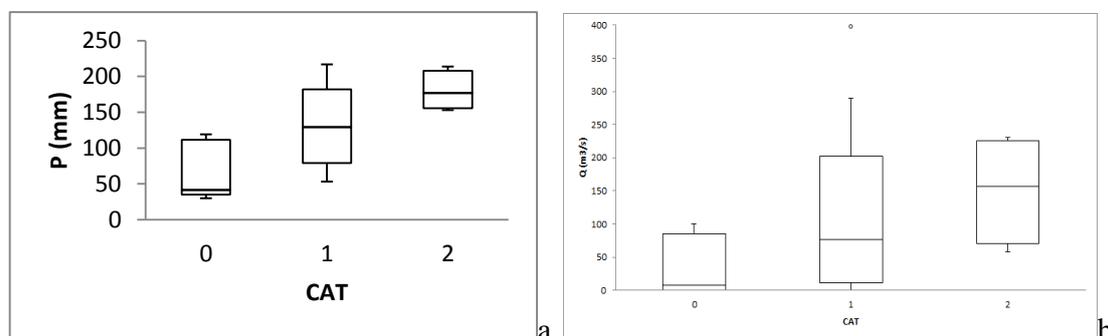


Fig. 6: Boxplots entre a) precipitación y categoría y b) caudal y categoría del río Onyar en Girona.

GIRONA	P (mm)	Q (m3/s)	RIPOLL	P (mm)	Q (m3/s)
P_50	45	87	P_50	45	40
P_75	61	127	P_75	56	54
P_90	91	193	P_90	72	80
P_99	193	391	P_99	112	207
Umbral	30	26	Umbral	29	29

Tabla 4: DISTRIBUCIÓN EN PERCENTILES DE LAS SERIES DE PRECIPITACIÓN Y DE CAUDAL EN EL ONYAR (GIRONA) Y EN RIPOLL.

Las distribuciones para Girona nos dicen que por encima del percentil 99 se sitúan el 50% de las inundaciones catastróficas y el 28,5% de las extraordinarias. Por encima del percentil 90 se encuentran todas las catastróficas y el 78,5% de las inundaciones extraordinarias. El 66,7% de las ordinarias se posicionan entorno al percentil 50 o por debajo. Para los caudales, por encima del percentil 99 sólo encontramos un caso de inundación extraordinaria pero por encima del 90 hay el 50% de los casos catastróficos y el 42,8% de los eventos extraordinarios. El resto de inundaciones catastróficas se encuentran entre los percentiles 75 y 90 y las extraordinarias entre el percentil 50 y el 90. Los casos de inundación ordinaria están entorno al percentil 50 o por debajo. Para la precipitación en Ripoll, el 80% de las inundaciones catastróficas se encuentran por encima del percentil 99 y el 50% de las extraordinarias también. El resto de ellas están entre los percentiles 75 y 90. Para los caudales, el 66,7% de las inundaciones catastróficas superan el percentil 99 y el 42,8% de las extraordinarias también, el resto de casos se distribuyen entre el percentil 75 y el 90.

	<i>Girona</i>		<i>Onyar</i>	<i>Onyar</i>	<i>Ter - Girona entrada</i>	<i>Ter - Girona salida</i>
<i>Pr</i>	<i>Gumbel</i>	<i>SQRT-ETmax</i>	<i>Gumbel</i>	<i>MIKE 11</i>	<i>MIKE 11</i>	<i>MIKE 11</i>
T	P	P	Qmean (24h)	Qmax (inst)	Qmax (inst)	Qmax (inst)
2	77	79	76	100 (T 3.5)	261 (T 3.5)	267 (T 3.5)
5	121	113	161	-	-	-
10	151	138	217	248	410	661
25	187	174	288	-	-	-
50	215	202	341	555	943	1422
100	242	233	394	672	1355	1849
200	269	-	446	-	-	-
500	305	310	515	991	2682	2903

Tabla 5: PERÍODOS DE RETORNO DE LA PRECIPITACIÓN EN GIRONA Y EL CAUDAL DEL ONYAR Y EL TER APLICANDO LOS MÉTODOS DE GUMBEL, SQRT (ACA) Y EL MODELO MIKE 11 (ACA).

Para finalizar se han calculado los períodos de retorno (Tabla 5) de Girona y también de Ripoll y la Boadella, de esta manera se puede establecer, en los umbrales, la frecuencia en que un evento de cierta magnitud se produce o no (Tabla 6).

	Extraordinarias		Catastróficas	
	Pr. Q (años)	Pr. T (años)	Pr. Q (años)	Pr. T (años)
Girona (Ter)	>2	>5	>4	>10
Ripoll (Ter)	>3	>10	>5	>50
Boadella (Muga)	>2	>2	>10	>5

Tabla 6: PERÍODOS DE RETORNO (Pr) MÍNIMOS PARA LAS INUNDACIONES EXTRAORDINARIAS Y CATASTRÓFICAS DE LAS TRES ZONAS DE ESTUDIO.

Existe por lo tanto una diferencia entre zonas de la cabecera poco antropizadas y las ciudades más vulnerables. Los períodos de retorno son bastante bajos, exceptuando casos muy específicos que han requerido establecer una nueva categoría, la catastrófica mayor (*Major Catastrophic*) que sitúa sus períodos de retorno alrededor de los 500 años, como las inundaciones del octubre de 1940 o del noviembre de 1982 en los Pirineos, dónde las cuencas de la Muga y del Ter (en mayor medida) se vieron afectadas.

5. CONCLUSIONES

Este trabajo ha permitido evaluar y validar las bases de datos de inundaciones construidos a partir de datos *proxy* y de la observación de impactos. En algunos casos se

han hecho cambios en las fechas o en la categoría mediante una propuesta de indicadores. También se han reconocido casos dónde existen picos de caudal y precipitación pero que no se reflejan correctamente.

No existen tendencias significativas para las series de precipitación y caudal. En las series de caudal más largas se intuye un ciclo de 40 años. En el caso de las inundaciones existe un decrecimiento no significativo en Girona pero un ligero incremento en la cuenca, debido sobretodo a las inundaciones ordinarias y extraordinarias.

La evolución decreciente de las inundaciones catastróficas puede ser debida a una mayor construcción de obras hidráulicas de defensa así como cambios en los usos del suelo, factores climáticos, la vulnerabilidad, etc.

Existen ciertos valores de caudal y precipitación de eventos catastróficos que destacan por encima del resto, debido a su elevado período de retorno o de su posición en las distribuciones establecidas. Para ello, se ha de considerar una nueva categoría mayor que la catastrófica para este tipo de episodios.

Las inundaciones catastróficas se han producido con caudales por debajo de un período de retorno de 100 años. Este período de retorno es inferior donde las áreas son más vulnerables. Concretamente episodios con caudal de periodos de retorno inferior a 10 años han producido inundaciones catastróficas en Girona si bien el caudal máximo instantáneo ha superado este período de retorno. En el caso de la zona de montaña los períodos de retorno y umbrales han superado los de 50 y 100 años en precipitación y caudal máximo para los episodios catastróficos. Este hecho invita a la reflexión en aquellos lugares donde el criterio es para períodos de retorno superiores a los 500 años.

6. AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer a la Agencia Catalana del Agua (ACA), al Servei Meteorològic de Catalunya (SMC), a la Agencia Española de Meteorología (AEMET) y al Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) por los datos de caudal y de precipitación que nos han proporcionado.

Este trabajo se ha llevado a cabo en el marco del proyecto europeo DRIHM (Distributed Research Infrastructure for Hydro-Meteorology). Proyecto nº 283568 UE Framework Programme 7.

7. REFERENCIAS

Agència Catalana de l'Aigua. (2014). *Avaluació preliminar del risc d'inundació en el districte de conca fluvial de Catalunya*.

Barnolas, M. y Llasat, M.C. (2007). A flood geodatabase and its climatological applications: the case of Catalonia for the last century. *Natural Hazards & Earth System Sciences*, 7, pp. 271–281.

Barrera, A.; Llasat, M. C. y Barriendos, M. (2006). Estimation of extreme flash flood evolution in Barcelona County from 1351 to 2005. *Natural Hazards & Earth System Sciences*, 6, pp. 505-518.

- Barriendos, M.; Coeur, D., Lang, M., Llasat, M.C.; Naulet, R.; Lemaitre, F. y Barrera A. (2003). Stationarity analysis of historical flood in France and Spain (14th-20th centuries)". *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 3, pp. 583-592.
- Barriendos, M. y Martín Vide, J. (1998). Secular Climatic Oscillations as Indicated by Catastrophic Floods in the Spanish Mediterranean Coastal Area (14th-19th Centuries). *Climatic Change*, 38, pp. 473-491.
- Benito, G.; Lang, M.; Barriendos, M.; Llasat, M. C.; Francés, F.; Ouarda, T. y Bobée, B. (2004). Use of systematic, palaeoflood and historical data for the improvement of flood risk estimation. Review of scientific methods. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 31, pp. 623-643.
- Consorcio de Compensación de Seguros (CCS). (2011). Estadística. Riesgos extraordinarios. Serie 1971-2010.
- Dao, H. y Peduzzi, P. (2004). Global evaluation of human risk and vulnerability to natural hazards. *Enviro- Info.*, 1, pp. 435-446.
- Direcció General de Protecció Civil de Catalunya (DGPC), 2012. Pla Especial d'emergències per inundacions (INUNCAT).
- Hann, C. T. (1977). *Statistical Methods in Hydrology*. State University Press.
- Isaaks, E.H., Srivastava, R.M. (1989). *An Introduction to Applied Geostatistics*. Oxford Univ. Press, pp. 561.
- Kendall, M. G. (1975). *Rank Correlation Measures*. Charles Griffin.
- Llasat, M. C.; Barriendos, M.; Barrera, A.; Rigo, T. (2005). Floods in Catalonia (NE Spain) since the 14th century. Climatological and meteorological aspects from historical documentary sources and old instrumental records. *Journal of Hydrology*. 313, 32–47.
- Llasat, M.C., Llasat-Botija, M., López, L. (2009). A press database on natural risks and its application in the study of floods in Northeastern Spain. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 9, pp. 2049–2061.
- Llasat, M.C. (2011). Trends in indices of daily precipitation extremes in Catalonia (NE Spain), 1951–2003. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11, pp. 3213–3226.
- Llasat Botija, M. C.; Llasat-Botija, M.; Petrucci, O.; Pasqua, A. A.; Rosselló, J.; Vinet, F., y Boissier, L. (2013). Towards a database on societal impact of Mediterranean floods in the framework of the HYMEX project. *Natural Hazards And Earth System Sciences*, 2013, 13, p. 1337-1350.
- Llasat, M. C.; Marcos, R.; Llasat-Botija M.; Gilabert, J.; Turco, M. y Quintana-Seguí, P. (2014). Flash flood evolution in North-Western Mediterranean. *Atmospheric Research*.
- Mann, H. B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica*, 13, pp. 245-259
- Petrucci, O.; Llasat, M. C.; Llasat-Botija, M.; Pasqua, A. A.; Roselló, J.; Vinet, F. y Boissier, L. (2013). A holistic approach to the analysis of flood events in Mediterranean Region. *EGU General Assembly Conference Abstracts*, 15, pp. 10222.
- Shaw, E.M. (1983). *Hydrology in Practice*. Van Nostrand Reinhold.
- Turco, M. y Llasat, M.C. (2011). Trends in indices of daily precipitation extremes in Catalonia (NE Spain), 1951-2003. *Natural Hazards And Earth System Sciences*, 11, pp. 3213-3226.
- UNISDR. (2009). Terminology on Disaster Risk Reduction: www.unisdr.org/we/inform/terminology