

CARACTERIZACIÓN DE RIESGOS CLIMÁTICOS EN ÉPOCA PRE-INSTRUMENTAL. LAS INUNDACIONES DE 1617 Y 1940 EN LA CIUDAD DE GIRONA

Xènia del AMO*, Mariano BARRIENDOS**, Carme LLASAT** y Jesús PERNAS*

*Servei de Meteorologia de Catalunya, Generalitat de Catalunya

**Departament d'Astronomia i Meteorologia, Universitat de Barcelona

RESUMEN

El estudio de riesgos climáticos en época pre-instrumental presenta una serie de dificultades para la obtención de una información cuantificable y equiparable a la actual. Pero tiene como aspecto positivo la identificación de episodios de una magnitud y extensión superiores a las de los registrados instrumentalmente. El análisis comparativo de episodios de ambas procedencias puede ayudar en el conocimiento de los riesgos climáticos de mayor magnitud. Aquí se presentan los resultados como propuesta metodológica para dos episodios de inundaciones en Girona. Se estudia en detalle en ambos casos el comportamiento de las precipitaciones, una posible situación sinóptica explicativa, la reconstrucción hidráulica del episodio de inundación y los impactos ocasionados.

Palabras clave: estimación de caudales, fuentes documentales, Girona, inundación, *proxy-data*, Onyar, reconstrucción meteorológica

ABSTRACT

Research in climatic hazards on pre-instrumental period has several problems, concerning the availability of quantifiable data as similar be possible than contemporary instrumental data. On the other hand, it's positive the characterization of episodes with magnitudes larger than the recorded during the past 100 years. Comparative analysis with episodes from both sources can help in the study of large climatic hazard episodes. In this work, a methodological proposal is showed for two flood episodes in Girona from rainfall, atmospheric, hydraulic and damage informations.

Key words: *discharge estimation, documentary sources, flood, Girona, meteorological reconstruction, Onyar, proxy-data*

1. INTRODUCCION

El estudio de los episodios meteorológicos extremos como desencadenantes de situaciones de impacto catastrófico tiene un permanente interés social y científico. En este campo, la investiga-

ción con una óptica multidisciplinaria abre nuevas perspectivas de análisis y resultados. En el caso de las inundaciones, el análisis individualizado de los procesos atmosféricos o hidrológicos está dando paso al estudio, clasificación y modelización de los diferentes aspectos físicos y humanos implicados.

Un conocimiento integral del comportamiento de los riesgos climáticos supone de forma casi obligada una reconstrucción de su distribución temporal. La modelización de tales fenómenos y la consiguiente capacidad de pronosticarlos pasa en buena medida por la obtención de series empíricas en las que se identifiquen y clasifiquen los episodios según diferentes parámetros como la duración, intensidad o extensión.

2. PLANTEAMIENTOS Y OBJETIVOS

El estudio de los riesgos climáticos cuando se aplica en sectores de fuerte variabilidad espacio-temporal, como el ámbito mediterráneo, debe abarcar el mayor número posible de episodios. La recopilación de episodios en fuentes de información instrumental cuantitativa nunca será óptima, especialmente cuando se pretende identificar y caracterizar episodios de gran magnitud y baja frecuencia. La obtención de información en fuentes documentales históricas ofrece datos cualitativos e información no instrumental pero cuantificable. Las dificultades obvias en la reconstrucción de los episodios extremos a partir de esta información quedan compensados por la posibilidad de establecer series continuas y empíricas de episodios que abarcan con relativa seguridad de 4 a 6 siglos.

El presente trabajo pretende describir un episodio de precipitaciones intensas con efectos catastróficos de un periodo histórico reciente y otro de periodo histórico o pre-instrumental. Para ello se emplean registros instrumentales y bibliografía especializada en el primer caso y documentación manuscrita en el segundo. El tipo de información obtenible se organiza en tres bloques: 1) características meteorológicas del episodio de precipitaciones 2) características hidrológicas e hidráulicas del episodio de inundaciones y 3) localización y evaluación de los daños y destrucciones ocasionadas por las inundaciones.

Para facilitar la comparación, la información disponible sobre el episodio de época pre-instrumental se organiza del mismo modo. La confrontación de los resultados permitirá valorar (no cuantificar) la intensidad del episodio pre-instrumental y evaluar su nivel de coincidencia con episodios ya conocidos. De este modo se puede llegar a identificar y clasificar con unas garantías mínimas los episodios pre-instrumentales para su ensamblaje con las series de episodios de época instrumental.

Dentro del tema de las inundaciones se ha seleccionado la ciudad de Girona por su exposición a las mismas y la frecuencia con que se han registrado (166 episodios en 660 años). Los dos casos seleccionados son inundaciones con efectos catastróficos (noviembre de 1617 y octubre de 1940).

3. EL EPISODIO DE 1940

3.1. Episodio pluviométrico

El día 16 de octubre de 1940 se inician las precipitaciones entre la costa central catalana y la llanura del Rosellón. Su intensidad es moderada, pero esa misma noche y todo el día 17 las lluvias se hacen torrenciales. Su incidencia es especialmente severa en los sectores montañosos del Piri-

neo Oriental. Los valores registrados fueron de una magnitud excepcional alrededor del macizo del Canigó (2785m). El día 18 la lluvia cede algo en su intensidad pero sigue siendo torrencial en el Conflent. La lluvia se mantiene todo el día 19 pero su intensidad ya puede considerarse normal. El día 20 registra todavía alguna precipitación importante pero ya se considera concluido el episodio (ver Tabla 1 y figura 1) (BOUTIN y PASCUAL, 1993).

Tabla 1: PRECIPITACIONES TOTALES DIARIAS REGISTRADAS EN ALGUNAS ESTACIONES DURANTE EL EPISODIO

Estación	Altitud (m)	16-X	17-X	18-X	19-X	20-X	Total*
St. Llorenç de Cerdans	640 m	150	1000	300	400	80	1930 mm
La Llau	300 m	75	840				915 mm
Amélie les Bains	270 m	155	233	98	190	84	759 mm
Camprodon	c. 900m		352	326	65		743 mm
Valmanya	870 m	66	323	174	64	2	629 mm
Mosset	700 m	2	150	124	136	123	535 mm
Beget			280	220			500 mm
Queralbs			240	140	56		436 mm
Le Perthus	285 m	205	34	84	103		426 mm
Sta. Fe del Montseny	1300 m		145	212			357 mm
Céret	139 m	65	99	51	105	16	336 mm
Perpignan	43 m	123	47	7	148		325 mm
Roquetes				114	111		225 mm
Susqueda				186			186 mm
Benissanet				152			152 mm
Esponellá				108			108 mm
San Fernando	24 m	2	10	23	23	4	62 mm
Barcelona	15 m	1	6	13	4	2	26 mm
Fabra	410 m	1	1	7	12	1	22 mm

Datos obtenidos en BOUTIN Y PASCUAL (1993), LLASAT (1993) y series meteorológicas diversas
 * Los registros corresponden al total diario de 0700 a 0700 horas

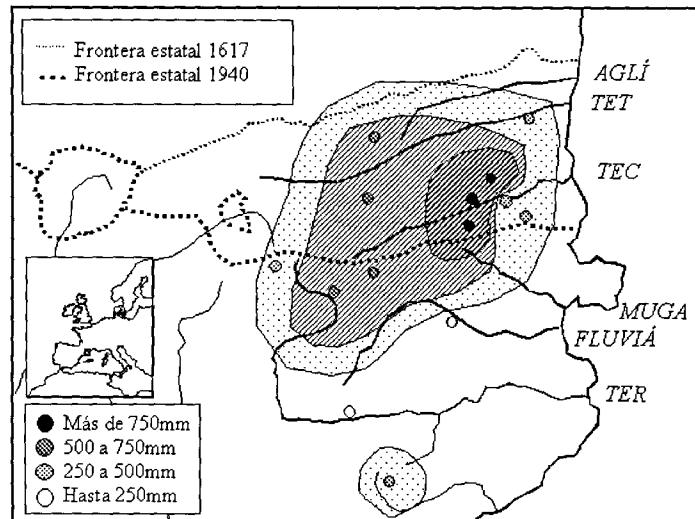


Figura 1: Distribución de las precipitaciones totales durante el episodio (16-20/10/1940).

3.2. Situación sinóptica

A pesar de las dificultades para disponer de información densa sobre la situación sinóptica sobre Europa debido al contexto bélico general existente durante 1940, se han realizado algunas reconstrucciones y análisis sobre el episodio (LLASAT, 1993; BOUTIN y PASCUAL, 1993; VIGNEAU, 1993). En términos generales, se sabe que un potente anticiclón estaba instalado entre la Unión Soviética y los países escandinavos. Su inmovilidad creaba una situación de bloqueo que detenía las depresiones que llegaban desde el Atlántico y les obligaba a adoptar una circulación meridiana sobre Europa Occidental. Por este motivo, la Península Ibérica experimentó bajas presiones casi continuas durante todo el mes de octubre de 1940, sufriendo el paso lento de depresiones. Buena prueba de ello son las rachas de días continuos de precipitación registradas en San Fernando (15 días) o Barcelona (13 días). Una de estas bajas presiones en su recorrido desde el mar de Alborán

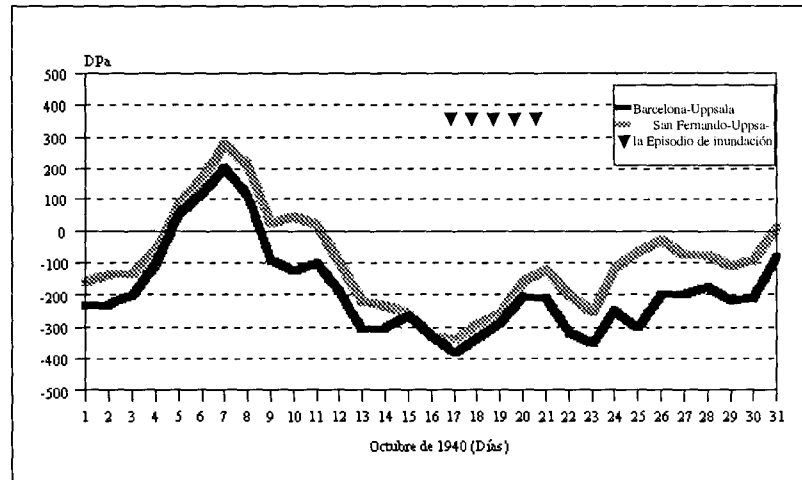


Figura 2: Diferencias en la presión diaria entre San Fernando y Barcelona con Uppsala (Suecia). Valores

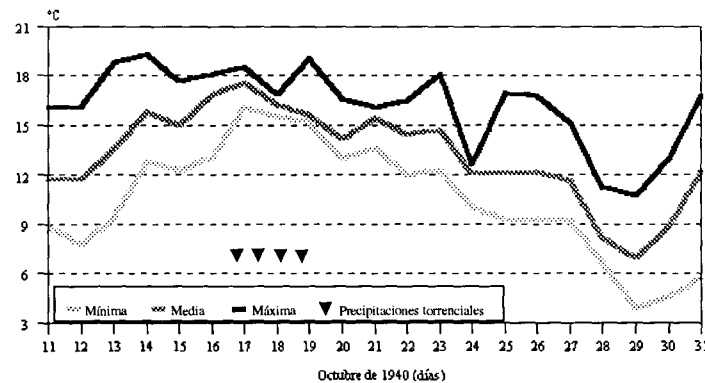


Figura 3: Temperaturas máxima, media y mínima diaria en el Observatorio Fabra (6km de Barcelona, 410m de altitud). La entrada de aire cálido es especialmente perceptible en las temperaturas mínimas a partir del día 17.

hacia el NE quedó retenida por una de las cuñas anticiclónicas que se extendía hasta el centro de Francia entre los días 16 y 17.

En altura, las masas de aire presagiaban una situación propicia a precipitaciones torrenciales: entre el anticiclón y la depresión se estaba impulsando una masa de aire cálido que desde Africa ascendía en latitud por la cuenca del Mediterráneo Occidental. Sobre la Península Ibérica, por su lado, estaba entrando una masa de aire polar forzado por el mismo bloqueo.

La configuración sinóptica, especialmente en altura, y la configuración del relieve explican el episodio de precipitaciones torrenciales. La zona donde se produjo el contacto entre la masa de aire cálido y la de aire frío tiene una configuración orográfica muy propicia a los efectos de pantalla pluviométrica con relieves superiores a 2500m relativamente cercanos a la línea de costa obstaculizando los vientos de E y SE de amplio recorrido marítimo. Por estas mismas circunstancias, la extensión del episodio fue relativamente limitada. El mismo día 17, la masa de aire frío sobre la Península Ibérica quedó aislada y junto con la depresión en superficie estableció una baja centrada que al acercarse al litoral mediterráneo se alimentó del aire cálido y húmedo que estaba impulsando el anticiclón. En el momento crítico, el viento era de levante directo en la zona de estudio: el temido “*vent de mar*”. Las cabeceras de los ríos abiertas en dirección al mar con orientaciones SE-NE fueron las más afectadas: el Ter, el Fluviá y la Muga en España. El Tec, la Tet y el Aglí en Francia. La prueba del efecto orográfico es que más allá del macizo del Canigó y el Sistema Transversal, en Puigcerdá, apenas se produjeron precipitaciones.

Los días 18 y 19 el anticiclón cedió parcialmente en su extensión sobre Europa Occidental y la depresión siguió un recorrido meridiano SW-NE remontando el valle del Ródano (BOUTIN y PASCUAL, 1993; VIGNEAU, 1993).

3.3. Descripción cualitativa del fenómeno hidrológico e hidráulico

En la ciudad de Girona los primeros avisos de que se iba a presentar una situación de emergencia se dieron el día 17 por la noche, porque el Ter bajaba muy crecido. El día 18 por la mañana el Ter seguía bajando muy crecido y el Onyar empezó a rebalsar, inundando sótanos. La red de alcantarillado entró en carga, comenzando a rebosar el agua del Onyar dentro de la ciudad. El nivel del Ter era 7 ó 8 m por encima del nivel habitual. La Comisaría de Aguas del Pirineo Oriental estimó un caudal de 2.350 m³/s para el Ter a su paso por Roda de Ter (45 km aguas arriba de la ciudad de Girona) y 400 m³/s para el Onyar a su paso por la ciudad de Girona (JUNTA D’AIGÜES DE CATALUNYA, 1994). El nivel del agua alcanzó los 2 m de altura sobre las calles. La anchura de la zona inundada por la confluencia de los dos ríos se calcula en 3 km. El día 19 por la mañana el nivel del agua ya descendió en Girona.

3.4. Impactos

Los fuertes desbordamientos de los ríos del Pirineo Oriental ocasionaron graves daños y destrucciones de las poblaciones ribereñas, así como deslizamientos de tierras. El Ter produjo daños en su misma cabecera (CODINACHS, 1993. CODINACHS, 1994). En Camprodón, una marca en la confluencia de los ríos Ter y Ritort recuerda que el agua alcanzó un nivel de 2,7 m sobre el nivel de la calle: los primeros pisos de las casas quedaron inundados. En la comarca del Ripollès se produjeron 11 víctimas mortales, 36 viviendas dañadas, 13 industrias afectadas y 3 viviendas desa-

parecidas. Siguiendo su curso, en Montesquiú desaparecieron 17 viviendas. En su curso medio, los daños fueron todavía más graves: En Torelló la crecida alcanzó 3m de altura en la población, ocasionando el rebalsamiento del río Ges. 110 viviendas se hundieron por el empuje directo del agua y 90 quedaron muy dañadas, ocasionando 26 muertos y varios desaparecidos. Además de los cultivos arrasados, 6 fábricas desaparecieron de sus emplazamientos. 500 familias quedaron sin hogar. En Manlleu se hundieron 20 viviendas, falleciendo 4 personas. En la ciudad de Girona los daños no fueron excesivamente graves, quizás por la práctica de la población y de las autoridades en este tipo de situaciones. El día 18 ya se solicitaban a Sant Feliu de Guíxols botes y marinería para empezar los rescates y evacuaciones en Girona. Aún así, un puente sobre el río Güell se hundió provocando 6 ó 7 víctimas mortales. 100 personas que habitaban viviendas muy humildes quedaron aisladas en la Devesa. Su rescate fue dramático, debido a que las aguas amenazaban con arrastrarlas. Una casa se hundió y se produjo una víctima mortal.

El balance global para Catalunya ascendió a 90 víctimas mortales, 380 casas destruidas, 165 fábricas destruidas, 58 puentes hundidos, 25 km de carreteras desaparecidas, 120.000 ha de cultivos inundados en el Empordà y unos daños directos valorados en 120 millones de pesetas de la época (MASACHS, 1958; RIBAS y SAURÍ, 1993). Sin embargo, se intuye que los daños diferidos fueron más cuantiosos y graves que los efectos directos del agua. Debido al contexto de postguerra las ayudas recibidas fueron exiguas, tanto por las penurias generales como por tratarse de una “región desafecta”. Resulta difícil valorar el impacto que representó en la actividad económica la desaparición de numerosas fábricas y la inutilización de otras muchas. Por otra parte, un gran número de pequeñas infraestructuras hidráulicas quedaron dañadas o destruidas, por lo que muchas fábricas quedaron inoperativas al no poder disponer de energía hidráulica, energía eléctrica o de agua para sus procesos productivos. Miles de trabajadores se quedaron sin empleo y la capacidad productiva de los sectores textil, de curtidos y metalurgia tardó mucho tiempo en recuperarse.

4. EL EPISODIO DE 1617

4.1. Episodio pluviométrico

Las precipitaciones que se registraron durante el episodio de noviembre de 1617 tuvieron una distribución general por toda Catalunya. Después de un período de lluvias persistentes durante el mes de octubre, se produjo un episodio de precipitaciones torrenciales desde Valencia hasta Perpinyà entre los días 30 de octubre y 6 de noviembre. En la mitad septentrional de Catalunya las precipitaciones de gran intensidad se inician el día 2 (Barcelona), con vientos de levante, y alcanzan el Pirineo Oriental esa misma noche (Camprodón). El día 3 las lluvias torrenciales continuadas se extienden por una amplia franja paralela al litoral. Los vientos van rolando a “xaloc” (SE) durante la mañana del 3 y “migjorn” (S) aquella misma tarde. La disposición del relieve contra estos vientos no es tan eficaz, y las precipitaciones penetran hacia el interior: la noche del 3 registra precipitaciones torrenciales en toda la Cerdanya y Alt Urgell, hacia las cabeceras de los ríos del Pirineo Central (Valira, Noguera Ribagorzana y Noguera Pallaresa). El día 4 continúan las precipitaciones, amainando progresivamente en el sector central (litoral barcelonés, Llobregat) y en el Pirineo Oriental (Camprodón). Hacia el Pirineo Central las precipitaciones aún son torrenciales todo

el día 4 amainando hacia la tarde del día 5. La inestabilidad en cambio aún no había cesado, pues la noche del 5 y parte del día 6 registran fuertes aguaceros tormentosos en el litoral y pre-litoral.

4.2. Situación sinóptica identificable

La información extraída de fuentes documentales sólo permite definir una de las posibles situaciones sinópticas que explicaría el episodio de precipitaciones registrado. Las condiciones climáticas generales (Pequeña Edad del Hielo) favorecían la circulación atmosférica meridiana con mucha mayor frecuencia que en la actualidad (BARRIENDOS, 1995). Dada esa situación, un anticiclón en Europa bloqueando el paso de las depresiones atlánticas explicaría las lluvias persistentes referidas al mes de octubre. El aire en altura debía ser anómalamente frío, debido a la alimentación continua de la masa de aire polar. En el momento que una baja presión muy intensa penetró en la península Ibérica se puede considerar que empezó el episodio: se constituyó una baja dinámica centrada no pudiendo hacer un recorrido zonal debido al bloqueo centroeuropeo, mientras iba alimentándose en superficie por masas de aire cálidas y con alto contenido en vapor de agua debido a su recorrido marítimo (BARRIENDOS, 1995). La persistencia de la borrasca en un largo recorrido sin debilitarse apreciablemente sólo puede explicarse por la presencia de una profunda vaguada en la circulación atmosférica sobre la Península Ibérica.

4.3. Descripción cualitativa del fenómeno hidráulico

La descripción del episodio contenida en las actas de acuerdos municipales proporciona una serie de detalles sobre el comportamiento hidrológico e hidráulico del evento, así como un horario de los hechos más importantes (Archivo Histórico Municipal de Girona, “Manual d’Acords, vol. 220, 1617, fols. 133 y ss.). Según esta fuente documental el día 3 de noviembre de 1617 el río Ter bajaba muy crecido desbordándose e invadiendo los valles de sus afluentes Onyar, Güell y Galligants, así como los sectores menos elevados del llano de Girona, produciendo el desbordamiento de dichos afluentes: “...la gran aygua que aportava lo riu de ter que tenia ocupada tota la distancia que es desde les torres den Noha de la barca fins al portal de figaroles en manera que nos veyia terra alguna en dita distancia sino molt gran aygua fen embutir lo dit Riu de onyar y axi havia crexent dita aygua apoch apoch y entrant per los carrers de la pnt. ciutat”. La entrada del agua en la ciudad se inicia el viernes 3 de noviembre hacia las 08:00 horas, aumentando lentamente el nivel del agua hasta alcanzar los 2 m sobre la calle a las 01:00 horas del sábado día 4 de noviembre. Parece ser que entre las 01:00 y las 02:00 del mismo día 4 el nivel se mantuvo constante: “...entre una y dos hores passada mitja nit fou nostre señor deu servit de que comensa de amillarse apres de haver stat ab dit augment molt bon spay de temps que nos conexia que cresques ni ampuias...”. Posiblemente en este momento se produjese el máximo almacenamiento de agua en la zona inundada igualándose las entradas a dicha zona con las salidas de ésta. A partir de las 02:00 horas del día 4 comienza a vaciarse muy lentamente la zona inundada de tal manera que al anochecer del domingo 5 de noviembre todavía había una gran cantidad de agua en el casco urbano. El lunes día 6 a las 20:00 volvió a rebalsarse el río Onyar llegando otra vez a inundar el casco urbano aunque parece ser que no se alcanzaron los niveles del día 3.

El texto municipal también describe detalles del comportamiento hidráulico de las aguas. Así, por ejemplo, explica cómo la muralla externa de la ciudad desvía el impacto directo de las aguas bravas del Ter en el núcleo urbano orientándolas hacia las afueras, donde causó graves daños: “...per

hont avuy passa la maior part de dit Riu y ve a fferir devant les cases que estan situades en los Carrers de parolers y ha enderrocada part de la casa de la dita horta de dit don Joan Carrera...".

4.4. Cálculo de caudales

A fin de facilitar el estudio del episodio de 1617 cabe considerar el área analizada como un sistema hidrológico, en el cual un volumen de agua que ocupa el área inundada recibe unas entradas (caudales del Ter, del Onyar, del Güell y del Galligants) y una salida (el Ter aguas abajo de la confluencia de los cuatro ríos). Los caudales de entrada sufren una serie de modificaciones derivadas de su almacenamiento transitorio en el volumen de la inundación. Dichas modificaciones son, principalmente, una reducción del valor del caudal máximo y un retraso en la llegada del mismo. Es decir, una laminación del hidrograma de entrada. Por tanto, el hidrograma de salida del sistema tendrá el pico retrasado respecto a la llegada de los picos de los hidrogramas de entrada y, por otro lado, este caudal máximo no será la suma de los caudales máximos de las cuatro entradas, sino que habrá de descontarse el volumen de agua que permanece acumulada en la zona inundada. Este sistema hidrológico puede modelizarse mediante la ecuación de continuidad:

$$I(t) - O(t) = \frac{dS}{dt}$$

Esta ecuación dice que en un momento dado la entrada, $I(t)$, de un sistema hidrológico ha de ser igual a la suma de las salidas, $O(t)$, a dicho sistema y el cambio temporal en el almacenamiento, dS/dt . Los datos de que se dispone no permiten distinguir cuándo se dieron los picos de los diferentes hidrogramas de entrada. Se sabe, no obstante, la hora en que se alcanzó el nivel más alto en la llanura de inundación, y también se sabe que en cursos naturales, debido al almacenamiento producido en los remansos, el máximo caudal de entrada se da antes de alcanzarse el máximo nivel de agua. Asumiendo una relación invariable entre el almacenamiento en la llanura de inundación y el caudal de salida de ésta, podría apuntarse la hora del máximo caudal en el Ter aguas abajo de Girona entre la 01:00 y 02:00 horas del día 4, pues, como se vio, entre estas horas el nivel del agua almacenada en la llanura de inundación se mantuvo invariable. No obstante, es de presumir que la mencionada relación almacenamiento-caudal de salida no fue constante y, por tanto, la hora del máximo caudal en el Ter (aguas abajo de Girona) habría de situarse más tarde de las 02:00 horas del día 4.

El cálculo de los caudales máximos es difícil y los resultados obtenidos no pasan de ser una mera aproximación. Para estimar estos caudales con los pocos datos disponibles, es necesario suponer un régimen de flujo uniforme, donde las variables hidráulicas (velocidad, pendiente hidráulica, radio hidráulico, etc.) se mantienen constantes en el espacio. Debido al importante efecto de los remansos estos caudales han de ser estimados aguas arriba de estos, fuera de su influencia. Una vez calculada la distancia que alcanzan los remansos se aplica a las secciones medias de cada uno de los tramos escogidos la fórmula de Manning, la cual proporciona la velocidad media del flujo en las secciones medias escogidas:

$$v = \left(\frac{1}{n} \right) \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{S}$$

Donde v es la velocidad media del flujo; R es el radio hidráulico o cociente entre la sección hidráulica

lica media del tramo escogido y el perímetro mojado medio; S es la pendiente de la superficie del agua, que en el caso del flujo uniforme coincide con la pendiente topográfica de la solera del canal. Por último n es el coeficiente de rugosidad, diferente para el canal y la llanura de inundación, y aun para las diferentes partes del canal y la llanura. La elección de su valor es comprometida, pues pequeñas modificaciones de su valor implican importantes cambios en el valor de la velocidad. Existen metodologías diversas para la obtención de su valor. Aquí se ha utilizado la propuesta por el US Soil Conservation Service, por ser la más objetiva.

Aplicando esta metodología al Ter aguas arriba de la confluencia con los demás afluentes y sabiendo que el nivel del Ter se elevó hasta 8 m sobre el nivel normal, resulta un caudal máximo de unos 2.600 m³/s. En el caso del Onyar hay que tener en cuenta la influencia del remanso que según los cálculos, para un calado de 8 m, se extendía hasta unos 1.400 m aguas arriba del Onyar desde su desembocadura en el Ter. Seleccionando un tramo aguas arriba del final de la cola del remanso y suponiendo un calado normal de 5,5 m, se obtiene un caudal máximo para el Onyar de unos 425 m³/s. La misma metodología se aplicó al Galligants obteniéndose un caudal máximo de 50 m³/s.

Dentro de las entradas queda estimar el caudal del Güell del que cabe suponer que era importante aunque los testimonios documentales no lo detallan. El cauce del Güell ha sufrido una importante transformación a raíz de una importante avenida en 1970 por lo que, a diferencia de los otros cauces cuya configuración no ha cambiado demasiado, no puede ser utilizado para calcular caudales antiguos. Por tanto ha de ser estimado aislandolo de la ecuación de continuidad y haciendo la suposición falsa de que los caudales máximos de las cuatro entradas y de la salida coincidieron en el tiempo. También es necesario conocer el valor de la tasa temporal de almacenamiento en ese momento ficticio. La información obtenida explica que en la llanura de inundación el nivel subió 2 m en 17 horas de manera muy constante. Multiplicando el área afectada por la inundación por los 2 m da un volumen de 13 millones de m³. Dividiendo este volumen por 61.200 segundos (17 horas) se obtiene una tasa de almacenamiento en la llanura de inundación de 212 m³/s o para trabajar con números redondos 210 m³/s.

Por último queda estimar el máximo caudal de salida. Para ello se ha escogido un tramo aguas abajo de la ciudad de Girona de donde se registró alguna referencia de la cota alcanzada por las aguas. El caudal estimado resulta ser de unos 3.000 m³/s.

Planteando la ecuación de continuidad:

$$[2600 \text{ m}^3/\text{s} + 425 \text{ m}^3/\text{s} + 50 \text{ m}^3/\text{s} + Q_G] - 3000 \text{ m}^3/\text{s} = 210 \text{ m}^3/\text{s}$$

donde Q_G es el caudal máximo del Güell, que resulta ser de unos 135 m³/s. Como se sabe que el caudal máximo de la salida no coincide con el máximo de la entrada sino que se da más tarde, este caudal calculado es mayor que el real.

4.5. Impactos

La relación de daños y destrucciones ocasionadas por las inundaciones de noviembre de 1617 supera ampliamente los registrados en 1940. Una primera aproximación a los registros de la documentación histórica (BARRIENDOS, 1995) ofrece daños catastróficos con destrucción de vivien-

das e infraestructuras en la práctica totalidad de ríos comprendidos entre el Turia y la Tet. Los ríos cuyas cuencas de alimentación se sitúan en el Pirineo Central también sufrieron inundaciones catastróficas (Cinca, Aragón). En definitiva, las tres capitales de la Corona de Aragón (Barcelona, Valencia y Zaragoza) sufrieron directamente daños catastróficos.

Respecto a la zona de estudio, se han llegado a identificar destrucciones completas de infraestructuras en diferentes poblaciones a lo largo del curso del Ter concentradas el día 3: Camprodon con el hundimiento de 8 viviendas, puentes dañados en Manlleu y Roda de Ter, Girona con el hundimiento de casas, muros y molinos y la destrucción del puente de Torroella de Montgrí. Los molinos e instalaciones hidráulicas destruidos a lo largo del Ter pueden contarse por decenas. El Mèder, subafluente del Ter, ocasionó en Vic la destrucción general de decenas de viviendas e infraestructuras. Un panorama similar ocasionó el desbordamiento del Segre en poblaciones como Puigcerdà, Seu d'Urgell, Balaguer y Lleida.

En el caso de Girona, varias viviendas fueron hundidas y las infraestructuras quedaron severamente dañadas. Respecto a los molinos hidráulicos, alrededor de la ciudad apenas quedó ninguno operativo. Además de los problemas propios de la inundación dentro de la ciudad, el impacto diferido más severo fue durante las semanas siguientes la adquisición de harina para hacer pan (base del sustento de la población). La destrucción de los molinos obligaba a molturar a mucha distancia de Girona, lo que encarecía la harina hasta resultar prohibitivo a buena parte de la población. Cabe suponer que se llegó a situaciones de hambruna, como en el caso de la mejor comunicada ciudad de Barcelona: *"...como no se podía moler trigo, y avia gastado cada uno en su casa la harina que tenía, se vieron con los mayores aprietos de hambre, que se puede imaginar. Y aunque adereçó la Ciudad las dichas acequias, aprovechó poco, porque las rompio el agua, y assi padecieron ricos, y pobres mucha hambre; cosa que en aquella ciudad nunca se havia visto, ni oydo contar a los viejos, ni hallado por escripto, que por abundancia de agua uviesse avido tanta hambre..."* (VALDEOSERO, 1617).

5. CONCLUSIONES

El presente trabajo tiene una finalidad básicamente metodológica, proponiendo métodos de análisis de riesgos climáticos de época instrumental y pre-instrumental. No se trata de ofrecer resultados definitivos sino definir posibles líneas de trabajo para la recopilación y análisis de testimonios de episodios meteorológicos extremos contenidos en fuentes documentales históricas.

El trabajo específico desarrollado evidencia en la comparación de los dos episodios la posibilidad de valorar y clasificar los diferentes bloques informativos del episodio pre-instrumental, aunque siempre con análisis meramente estimativos.

En el caso de la precipitación, a raíz de los trabajos sobre el episodio de 1940, se identificaban dos patrones de precipitaciones torrenciales: uno de incidencia en el Pirineo Oriental y un segundo de incidencia costera. Por ejemplo, 1940 y 1982 serían del primer caso y 1971 del segundo (LLASAT, 1993). En el caso de 1617, casi se podría hablar de un tercer tipo, pues sin manifestar unas precipitaciones más intensas que los episodios referidos, sí que se identifica claramente una incidencia de las precipitaciones en un ámbito geográfico mucho mayor. Podría valorarse incluso la

posibilidad de que 1617 sobrepasara la suma de ambos tipos.

Sinópticamente, se interpreta que los procesos existentes son básicamente similares en 1617 y en 1940. Una circulación meridiana propicia ambos episodios, aunque a mesosescala hay procesos que deben explicar en el episodio de 1617 una mayor persistencia de las precipitaciones torrenciales que hacen un recorrido mucho más prolongado que en 1940. A pesar de todo, no cabe ver situaciones o procesos desconocidos. Como afirma un investigador francés, el proceso atmosférico puede ser el mismo, pero las lluvias resultan anómalamente intensas debido a que ese proceso funcionó con alta eficacia (VIGNEAU, 1993).

El comportamiento hidráulico en Girona en ambos episodios fue muy similar. El patrón que ocasionó el desbordamiento es el mismo, y sólo se aprecia en la reconstrucción de caudales, y con las debidas precauciones, una ligera ventaja del episodio de 1617 que ofrece caudales de 2.600 m³/seg. y 425 m³/seg. para el Ter y el Onyar, respectivamente, mientras que el episodio de 1940 dio 2.350 m³/seg. en Roda de Ter para el Ter y 400 m³/seg. para el Onyar.

Esta similitud ofrece como conclusión metodológica que la comparación de riesgos climáticos es una herramienta válida, pero que emplearla en localizaciones limitadas puede generar interpretaciones incorrectas. Procesos de diferente magnitud pueden ofrecer en escalas regionales o locales respuestas muy parecidas. Se impone, pues el empleo de muestreos de información en ámbitos geográficos suficientemente amplios. Por lo menos, suficiente para delimitar el ámbito de incidencia del riesgo climático a estudiar.

Respecto a los impactos generados, su comparación es a todas luces la menos viable. Ante dos modelos socio-económicos y tecnológicos diferentes no es posible generar comparaciones válidas. A penas se puede llegar a una valoración económica de los daños equiparable, y el registro de víctimas mortales suele ser un aspecto a menudo aleatorio. Sin embargo, a pesar de esta obviedad, es muy interesante y útil el estudio de la localización y distribución de los impactos o de las zonas afectadas. El trabajo es lento, por la variedad de fuentes documentales de potencial interés, pero la información aportada suele tener una utilización en la localización espacio-temporal de los momentos de máxima intensidad de la precipitación, de los máximos niveles de crecida o del comportamiento en general de la atmósfera y las cuencas de drenaje afectadas.

6. AGRADECIMIENTOS

Proyecto SPHERE, "Systematic, Palaeoflood and Historical data for the improvEment of flood Risk Estimation" (CE EVG1-CT-1999-00010).

7. REFERENCIAS

BARRIENDOS, M. (1995): "La climatología histórica en el estudio de los riesgos climáticos. El episodio de noviembre de 1617 en Catalunya". En Creus, J. (ed.): *Situaciones de riesgo climático en España*, Instituto Pirenaico de Ecología (CSIC), Jaca, 73-83.

BOUTIN, A.; PASCUAL, M. (1993): "L'aiguat d'octubre 1940". En Servei Geològic de la Gene-

ralitat de Catalunya: “*L’aiguat del 40. Actes del Congrés de Vernet (1990)*”, Generalitat de Catalunya, Barcelona, 67-76.

CODINACHS, D. (1993): “*El risc d’inundació al Ripollès: perspectiva històrica i situació actual*”. Memoria de investigación, Departamento de Geografía, Universidad Autónoma de Barcelona, Bellaterra, 145pp.

CODINACHS, D. (1994): “Geografía històrica de les inundacions en un àrea de muntanya: el cas del Ripollès”. *Treballs de la Societat Catalana de Geografia*, nº 38, 9, 93-102.

JUNTA D’AIGÜES DE CATALUNYA (1994): “Recomanacions pel càlcul d’avingudes màximes”. Departament de Política Territorial i Obres Públiques, Barcelona.

LLASAT, M.C. (1993): “Les inondations de 1940 en Catalogne espagnole. Les inondations semblables des cinquante années suivantes”. Servei Geològic de la Generalitat de Catalunya: “*L’aiguat del 40. Actes del Congrés de Vernet (1990)*”, Generalitat de Catalunya, Barcelona, 137-146.

MASACHS, V. (1958): “El clima i les aigües”. En L. Solé Sabarís, “*Geografia de Catalunya*”, vol. 1, 163-207, AEDOS, Barcelona.

RIBAS, A. y SAURÍ, D. (1993): “L’aiguat d’octubre de 1940 a les conques dels rius Ter, Fluvià i Muga”. Servei Geològic de la Generalitat de Catalunya: “*L’aiguat del 40. Actes del Congrés de Vernet (1990)*”, Generalitat de Catalunya, Barcelona, 147-158.

VALDEOSERO, M. de (1617): “*Relación verdadera, que truxo Miguel de Valdeosero Correo de a cavallo de su Magestad, del lastimoso diluvio, que uvo el mes de Noviembre deste año de 1617 en la ciudad de Barcelona, y en otros lugares, y de la perdida de Monasterios, y muertes de muchas gentes, y otros que milagrosamente escaparon, como por la relación se declara*”. Alonso Rodríguez Garrama, Sevilla, 4p.

VIGNEAU, J.P. (1993): “Un épisode pluvieux méditerranéen parmi d’autres?. Enquête sur les précipitations d’octobre 1940 dans les Pyrénées-Orientales”. En Servei Geològic de la Generalitat de Catalunya: “*L’aiguat del 40. Actes del Congrés de Vernet (1990)*”, Generalitat de Catalunya, Barcelona, 77-86.