

EVOLUCIÓN DE LAS INUNDACIONES EN CATALUÑA EN LOS ÚLTIMOS QUINIENTOS AÑOS

M^a Carmen Llasat¹, Mariano Barriendos², Roberto Rodríguez¹, Javier Martín-Vide²

RESUMEN: El presente trabajo muestra los resultados alcanzados tras el análisis de la documentación relativa a inundaciones, obtenida directamente de archivos municipales y eclesiásticos de diferentes lugares de Cataluña. En algunos casos dicha información se ha complementado con documentación privada o bibliografía. Finalmente, y con el objetivo de poder realizar un estudio comparativo de algunos episodios se ha recurrido a información instrumental procedente de la estación meteorológica de Barcelona, desde 1780. Todo ello ha permitido reconstruir las series de Barcelona, Tortosa y Gerona, desde 1389 hasta 1971, así como confeccionar nueve series secundarias correspondientes a otras tantas localidades, con el fin de analizar las características regionales. En primer lugar se ha realizado una clasificación de las inundaciones atendiendo a los daños producidos, lo que ha permitido confeccionar diferentes índices cuantitativos. En segundo lugar se ha analizado la evolución temporal de tales índices, con resolución anual y mensual. El trabajo se ha completado con el análisis de anomalías, análisis de tendencias y análisis espectral de un índice representativo de toda Cataluña. El objetivo final del presente trabajo es la identificación y caracterización de la dinámica de las inundaciones desde el siglo XV hasta nuestros días.

Palabras clave: series históricas, inundaciones, clima y agua, análisis temporal, análisis espectral, riesgo, vulnerabilidad, Cataluña.

INTRODUCCIÓN

La preocupación ante los efectos de un posible cambio climático sobre algunos desastres naturales y, particularmente, sobre las lluvias catastróficas, ha ido incrementándose en los últimos años. En el caso de las inundaciones la alteración de los usos del suelo y de los cauces, la deforestación, erosión y sobreexplotación, refuerzan el papel desempeñado por el propio impacto humano. Ante semejante problema, las políticas de actuación futuras apuntan, entre otros aspectos, hacia la necesidad de disponer de largas series climáticas así como de la evolución de los usos del suelo, para poder evaluar de una forma objetiva y concluyente el impacto climático y antropogénico sobre los recursos hídricos (Doodge and Kuusisto, 1998). Es en este ámbito en el que se sitúa el trabajo desarrollado a continuación.

La obtención de información sobre inundaciones en fuentes documentales históricas es una línea de investigación que ofrece buenas posibilidades de estudio de las inundaciones. Las sociedades pre-industriales tenían un nivel tecnológico que las hacía vulnerables a los efectos de las lluvias torrenciales en los cursos fluviales de cualquier tipo, independientemente de su caudal y su régimen anual. La dependencia de los recursos hídricos obligaba a las poblaciones a localizarse cerca de los cursos

fluviales. Por este motivo, las autoridades locales debían dedicar una importante cantidad de recursos económicos en medidas meramente paliativas. Se llegaba a una situación de equilibrio precario en el que la capacidad destructiva de las inundaciones era igual o ligeramente superior a la capacidad de reconstrucción de estas comunidades, iniciándose un ciclo de destrucción-reconstrucción apenas invariable.

Los episodios de lluvias intensas causantes de inundaciones en zonas habitadas eran un fenómeno relativamente poco frecuente, pero de graves efectos para la vida cotidiana de cualquier comunidad humana. Ello convertía a las inundaciones, así como a otros riesgos climáticos (sequías, olas de frío, etc.), en un suceso que generaba un volumen de información fácilmente detectable y analizable siguiendo los métodos propios de la climatología histórica.

La fuente documental básica para la información sobre inundaciones la constituyen los libros de actas municipales, donde las autoridades deliberan y toman decisiones al respecto. Habitualmente aparecen descripciones de los daños producidos en bienes o infraestructuras municipales (murallas, puentes, molinos, presas, edificios, viales) y aquellas medidas necesarias para reparar o reconstruir los elementos afectados. En casos de ma-

¹ Departamento de Astronomía y Meteorología, Universidad de Barcelona, 08028 Barcelona

² Departamento de Geografía Física, Universidad de Barcelona, 08028 Barcelona

Artículo publicado en *Ingeniería del Agua* Vol.6 Num.4 (diciembre 1999), páginas 257-266, recibido el 18 de noviembre de 1998 y aceptado para su publicación el 4 de octubre de 1999. Pueden ser remitidas discusiones sobre el artículo hasta seis meses después de la publicación del mismo. En el caso de ser aceptadas, las discusiones serán publicadas conjuntamente con la respuesta de los autores en el primer número de la revista que aparezca una vez transcurrido el plazo indicado.

yor gravedad, aparecen descripciones completas del episodio meteorológico que había provocado la inundación. Otras fuentes documentales complementarias son las eclesiásticas y las privadas. En las primeras, pueden registrarse descripciones detalladas de características similares a las municipales, así como rogativas organizadas para conseguir el cese de las lluvias o el descenso del nivel del cauce de un río. Los libros de memorias o diarios privados pueden ofrecer información puntualmente muy detallada cuando el relator ha sido contemporáneo de los hechos. Sin embargo, cuando el objetivo es obtener series temporalmente largas con el registro de todos los episodios, este tipo de fuentes suelen presentar un problema de falta de homogeneidad en el registro de los episodios a analizar, al estar sujetos a los criterios de selección de las informaciones que vierte el propio autor en su obra.

Entre los trabajos previos existentes en esta línea, y referidos al litoral mediterráneo español, cabe recordar las publicaciones de J. de Chía (1861) sobre el Ter y el Onyar, Sanz (1983) sobre el Besòs, J. Codina Vila (1971) sobre el Llobregat, R. Couchoud (1965) sobre el Segura (y sus mecanoscritos sobre el Júcar), etc. Y los trabajos generales para diferentes cuencas como los de J.M. Fontana Tarrats (1976, 1978), M.Rico y Sinobas (1851), etc.

METODOLOGÍA

Documentación y datos recopilados

En el Anexo I se explicitan las fuentes documentales básicas utilizadas en este trabajo. Esencialmente están constituidas por libros de actas municipales, archivos eclesiásticos (i.e. Archivo Capitular de la Catedral de Tortosa) y diversas fuentes privadas convenientemente contrastadas (para información más detallada, ver Barriandos, 1994). En definitiva, el trabajo de recopilación de información en diferentes centros de investigación ha com-portedo la consulta en 11 archivos de 54 series documentales, mayoritariamente libros de actas municipales, con un total de más de 1000 volúmenes de documentación manuscrita (Tabla 1).

Con toda esta información se han elaborado doce series de eventos relacionados con inundaciones correspondientes a doce poblaciones distribuidas tal como indica la Figura 1 y cuyas características se muestran en la Tabla 2. En la selección de puntos o localidades para reconstruir series de datos, se ha prestado especial atención a la posibilidad de contemplar diferentes tipos de cuencas y cursos fluviales, disponiendo así de un gran curso fluvial (Ebro, >500km longitud), ríos medios (100-200 km longitud), ríos cortos (<100 km longitud) y cursos intermitentes de ámbito litoral (5-10 km longitud). El período temporal abarcado por la documentación histórica se inicia en términos generales en el momento en que una localidad alcanza una cierta magnitud demográfica y social que le permite

Localidad	Archivos	Series	Volúmenes	Bibliografía
Girona	4	10	424	5
Barcelona	5	38	302	1 (Besòs)
Tortosa	9	6	357	4
Tarragona	3	7	443	—
Caella	1	7	39	—
Seu d'Urgell	1	2	48	—
Arenys de Mar	1	7	63	—
Balaguer	1	3	5	—
taró	1	4	76	—
Lleida	1	4	4	—
El Prat de Llob.	—	—	—	1
Total	20	88	1761	11

Tabla 1. Fondos documentales y bibliográficos consultados para la recopilación de datos de las principales localidades

y predispone al establecimiento de instituciones de gobierno local con un grado de complejidad suficiente para afrontar la gestión de su entorno más inmediato y, lo que es más importante para la investigación climática, generan y conservan de forma regular sus registros documentales. En Catalunya, este momento se produce en general hacia los siglos XIV-XV. Sólo en el caso de las poblaciones costeras, debido a la presencia de piratas y corsarios durante la Edad Moderna, la consolidación urbana no se produce hasta los siglos XVII-XVIII.



Figura 1. Mapa de localización de las estaciones analizadas

De las doce series disponibles, se han seleccionado tres localidades para su análisis en detalle: Gerona, Barcelona y Tortosa, cubriendo un período de 500 años (1401 - 1900). La selección ha considerado la distribución latitudinal regular de los tres puntos, su tipología diferenciada y su cobertura temporal amplia así como la gran calidad de las series respectivas. Así, se ha tenido en cuenta la ausencia de fragmentos temporales en los cuales se tuviese alguna duda sobre su adecuada cobertura informativa. Existe una situación especial en Barcelona: la expansión urbanística producida a mediados del siglo XIX comporta cambios como el sistema de alcantarillado o la destrucción de las murallas, que alteran los efectos que determinados episodios pluviométricos habrían producido en los siglos anteriores. Por ejemplo, hay constancia de una inundación en septiembre de 1862 en el sector de las Ramblas nunca experimentada hasta entonces y que fue fruto del derribo de las murallas, lo que dejaba el centro de la ciudad sin una protección para determinados episodios de crecidas que antes de estas operaciones urbanísticas estaban controladas. Eso conlleva un problema de inhomogeneidad en la serie que, de no solventarlo, podría conducir a conclusiones erróneas. Para salvar este problema, se han empleado los datos de la serie del río Besós a partir de 1851, considerando su cercanía y características geográficas similares, aunque se trata de un curso fluvial permanente. La opción más lógica era la inclusión de alguna serie correspondiente a cursos intermitentes de la comarca adyacente del Maresme, por tratarse del tipo de curso fluvial existente en el llano de Barcelona. Sin embargo, los valores medios y las desviaciones estándar son más próximos entre las rieras de Barcelona y el río Besós que no entre las rieras del Barcelonés y el Maresme (Tabla 2)

Criterios de definición y elaboración de los índices

Los criterios básicos aplicados para la aceptación de la información obtenida en las fuentes documentales han

sido la continuidad y la homogeneidad de la información, así como la completa fiabilidad de los documentos empleados y la datación exacta de los episodios (Le Roy, 1967; Alexandre, 1987).

La objetivización de la información disponible se ha realizado siguiendo un criterio basado únicamente en los efectos producidos por cada inundación. La experiencia recogida en Catalunya ha permitido diferenciar tres tipos de crecidas según su impacto (Barriendos y Pomés, 1993) aunque solamente las inundaciones pueden ser tratadas objetivamente:

a. Crecidas simples

Episodios de precipitación que ocasionan incrementos en el caudal de los cursos fluviales o riadas, pero sin llegar a ocasionar desbordamientos. Pueden ocasionar daños y pérdidas humanas si momentáneamente se desarrollan actividades dentro o cerca del cauce en el momento de la crecida, independientemente de la intensidad de ésta.

b. Inundaciones extraordinarias

Episodios de precipitación que ocasionan desbordamientos con una intensidad o duración que no producen daños en la localidad. Puede ocasionar incomodidades o molestias en la vida cotidiana de la población.

c. Inundaciones catastróficas

Episodios de precipitación que ocasionan desbordamientos con daños graves o destrucción de infraestructuras (puentes, molinos, murallas, caminos), edificios y cultivos.

Con objeto de cuantificar la existencia y tipo de inundación, a cada episodio se le ha asignado el valor 1, en el caso de que fuese extraordinaria, y 2, en el caso de que fuese catastrófica. De esa forma, para cada población *j* y año *i*, se obtiene un índice normalizado, I_{ij} , según la expresión:

Río Riera	Localidad	Coordenadas geográficas	Período (AD)	Inundaciones extraordinarias			Inundaciones catastróficas		
				Nº	Media	S	Nº	Media	S
Ter/Ony.	Girona	41.59N-2.49E	1322-1971	71	0.11	0.34	14	0.02	0.16
Capaspre	Calella	41.37N-2.40E	1672-1982	24	0.08	0.29	15	0.05	0.22
Sobirans	Arenys	41.35N-2.33E	1687-1982	32	0.11	0.32	35	0.12	0.37
Cirera	Mataró	41.32N-2.27E	1740-1982	57	0.24	0.5	36	0.15	0.37
Besos	Monteada	41.25N-2.04E	1402-1971	—	—	—	24	0.04	0.21
Diversos	Barcelona	41.23N-2.11E	1389-1850	—	—	—	32	0.07	0.25
Llobregat	El Prat	41.20N-2.06E	1315-1971	—	—	—	35	0.05	0.24
Francolí	Tarragona	41.07N-1.15E	1595-1930	4	0.01	0.11	14	0.04	0.2
Ebro	Tortosa	40.48N-0.3tE	1355-1982	16	0.03	0.16	15	0.02	0.15
Segre	Seud'Urgell	42.21N-1.28E	1453-1843	5	0.01	0.11	11	0.03	0.17
Segre	Balaguer	41.47N-0.49E	1617-1874	7	0.03	0.16	5	0.02	0.14
Segre	Lleida	41.37N-0.37E	1329-1787	18	0.04	0.19	12	0.03	0.16

Tabla 2. Características geográficas y estadísticas de las series

$$I_i = \frac{R_i}{R_{med_j}} \quad j = 1, 2, \dots, 12 \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (1)$$

donde:

N es el número de años de que consta la serie, R_{ij} es la frecuencia absoluta de inundaciones en el año i para la población j y R_{med_j} es el promedio anual de inundaciones en la población j .

Se trata, pues, de una normalización sobre base 1. Cuando la frecuencia hace referencia exclusivamente a las inundaciones extraordinarias se obtiene el índice $INUE_{ij}$, $INUC_{ij}$ si se trata de inundaciones catastróficas, e $IMINU_{ij}$, si se trabaja con la serie conjunta de ambos tipos de inundaciones. Es importante observar que, en el caso de Barcelona, todas las inundaciones son de carácter catastrófico.

Posteriormente, los índices se han promediado para obtener unos índices generales a escala regional que permitan analizar las variaciones climáticas en sus manifestaciones más generales. Para ello se ha recurrido a la expresión:

$$I_i = \sum_{j=1}^{12} \frac{I_{ij}}{j} \quad (2)$$

De esa forma es posible obtener para cada año i los índices $INUE_i$, $INUC_i$ e $IMINU_i$, según se trate de inundaciones extraordinarias, catastróficas o ambos tipos. La regionalización se ha efectuado tanto relativa a las tres localidades primarias (en cuyo caso el sumatorio se refiere exclusivamente a estas tres), como al conjunto de las 12 localidades.

Finalmente cabe decir que el análisis temporal de tales índices se ha realizado utilizando la media móvil con una longitud de ventana de 31 años y una cadencia de 1 año.

Análisis espectral

Dado que lo que interesa en el tratamiento de este tipo de series es la identificación de posibles periodicidades en baja frecuencia, la aplicación directa del método clásico de la transformada de Fourier (Rodríguez *et al*, 1994) no es la más adecuada, ya que dada la amplitud del lóbulo central se pierde información en esta zona frecuencial. Es por ello que se ha recurrido a la aplicación del método de máxima entropía o MESA (Burg, 1975) con un filtro de predicción de error de 167 términos ($N/3$; $N = 500$) (Ross, 1975; Rodríguez y Llasat, 1997; Rodríguez *et al*, 1999). El método consiste esencialmente en el cálculo de la transformada de Fourier de la serie a la que se le ha aplicado un filtro, deconvolucionador en el espacio de frecuencias, al que se le impone la condición de entropía máxima, donde la expresión de la entropía de una señal viene dada (Shanon y Warren, 1959) como:

$$H = -k \cdot \sum_{t=1}^N p[x(t)] \cdot \ln\{p[x(t)]\} \quad (3)$$

donde k es una constante positiva, N es la longitud de la series y $p[x(t)]$ es la probabilidad de la cantidad $x(t)$.

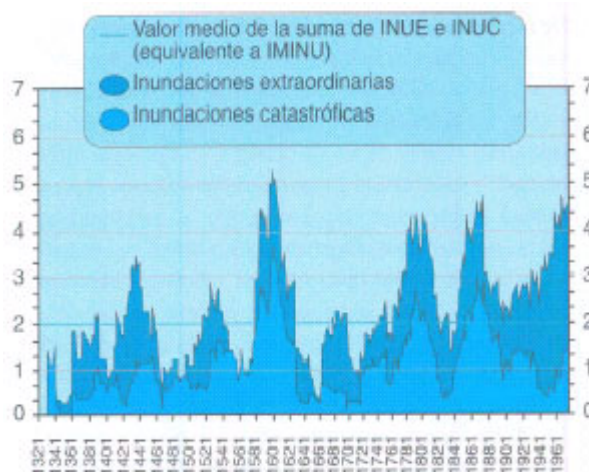


Figura 2. Índices de frecuencia de las inundaciones extraordinarias y catastróficas. Medias

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis temporal de las series anuales

La representación gráfica de los índices generales (Figura 2) muestra claramente la presencia de una serie de oscilaciones que pueden atribuirse a factores climáticos. Probablemente la tendencia registrada durante la segunda mitad del siglo XX en las inundaciones extraordinarias no tiene tanto una componente climática como debida al incremento de las actividades antrópicas en sectores con riesgo de inundación y alteraciones en los cauces.

Se identifican tres oscilaciones muy evidentes, localizadas entre los siglos XVI y XVII, a finales del siglo XVIII y a mediados del siglo XIX. Esta última oscilación, que alcanza un máximo hacia 1850, también se observa en el análisis de la serie instrumental de Barcelona para el periodo 1850-1991 (Rodríguez y Llasat, 1997). Asimismo, las últimas investigaciones sobre la evolución de las inundaciones en Centroeuropa muestran resultados que a grandes trazos se aproximan a los anteriores (Glaser, 1998). Existen otras oscilaciones de menor longitud temporal y menor intensidad que las tres antes citadas: en las décadas centrales del siglo XV, entre la tercera y cuarta década del siglo XVI, y durante las últimas décadas del siglo XVII. Esta última podría corresponder cronológicamente al episodio climático conocido como Late Maunder Minimum, extensamente estudiado para las latitudes medias y altas (Frenzel, 1994) aunque sus repercusiones en nuestro ámbito geográfico aún están en curso de investigación y ofreciendo sólo sus primeros resultados (Barriendos, 1997). Es importante observar que entre 1630 y 1720 apenas se registran inundaciones extraordinarias. Cabe decir que el Late Maunder Minimum estuvo caracterizado por una disminución de la temperatura del aire y de la temperatura del agua del mar (SST) lo que probablemente comportaría en la zona estudiada, una disminución de la componente convectiva de la precipitación (Llasat y Puigcerver, 1997) y, consecuentemente, de intensidades elevadas.

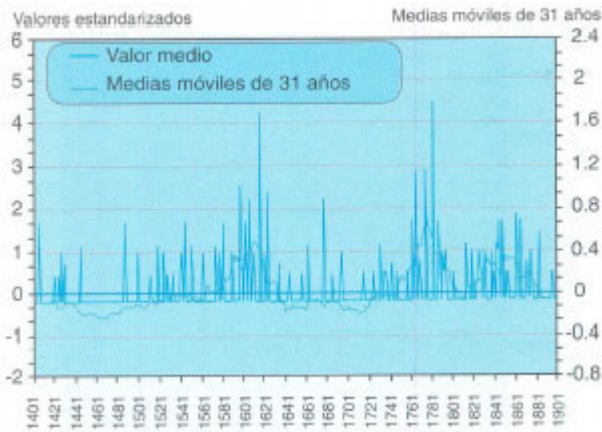


Figura 3. Promedio de los índices de inundaciones extraordinarias y catastróficas para las estaciones de Girona, Barcelona y Tortosa. Valores estandarizados y medias móviles de 31 años

La Figura 3 referida exclusivamente a las series de Barcelona, Tortosa y Gerona, corrobora los resultados obtenidos utilizando índices regionales y mostrados en la Figura 2.

Las mayores oscilaciones climáticas identificadas coinciden plenamente con las expresadas a través de otros registros proxy-data, como las series de rogativas "pro lluvia"; es decir, las ceremonias religiosas convocadas a causa de una situación de sequía. De las tres oscilaciones identificadas, la primera y la tercera coinciden con bruscos y acusados descensos en el empleo de este tipo de rogativas, mientras que la segunda oscilación, a finales del siglo XVIII, se produce de forma simultánea con un fuerte incremento de las sequías (Barriendos, 1994; Martín-Vide y Barriendos, 1995). Esta última oscilación, caracterizada por un tiempo extraordinariamente severo en el área mediterránea, se produjo entre 1760 y 1800, dándosele el nombre de oscilación Maldá (Barriendos, 1994). Otras investigaciones empleando solo inundaciones catastróficas para el litoral mediterráneo español

entre Murcia y Girona, incluyendo Ciutat de Palma, presentan un resultado similar en el tipo y cronología de oscilaciones climáticas identificadas (Barriendos y Martín-Vide, 1998).

Análisis temporal de las series mensuales

El análisis del comportamiento de las inundaciones en resoluciones temporales de detalle permite observar manifestaciones específicas de su comportamiento como parte integrante y manifestación de la variabilidad climática. Las resoluciones estacional, y más concretamente la mensual, se emplean habitualmente en los estudios de climatología histórica centroeuropeos, por lo que su empleo en el estudio de las inundaciones en el ámbito mediterráneo se hace inevitable (Pfister, 1988. Glaser & Walsh, 1991).

El resultado más evidente en el estudio de las series de inundaciones de Girona, Barcelona y Tortosa es el fuerte protagonismo en el registro de inundaciones que tienen los meses de otoño: septiembre, noviembre y diciembre. Ello no significa que fuera de estación no se produzcan episodios de precipitaciones intensas con efectos catastróficos. De hecho, el registro de fenómenos de este tipo durante cualquier momento del año es casi una de las características propias del clima en el ámbito mediterráneo. En las mismas series analizadas aparecen graves episodios que servirían de ejemplo, como los de marzo de 1790 y mayo de 1853.

La Figura 5 representa la suma acumulada del índice IMINU positivo, distinguiendo las diferentes estaciones del año, para las tres series. Su análisis en detalle permite diferenciar aquellos periodos en que apenas se registran inundaciones o "periodos de calma" (pendiente nula) de aquellos con gran frecuencia de inundaciones o "periodos de inestabilidad" (elevada pendiente). El valor del índice acumulado al final de la serie es de 162 en el caso del otoño, 80 en el caso de primavera e invierno y 50 en verano. Las series muestran un periodo inicial de calma que se extiende a lo largo de todo el s. XIV y hasta la primera mitad del siglo XVI, época en que se

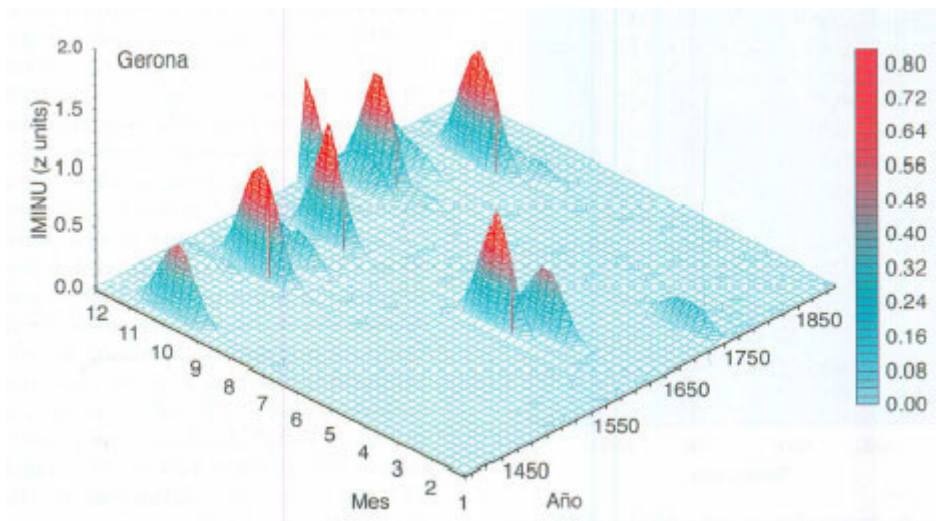


Figura 4. Evolución mensual y anual del índice IMINU en Girona

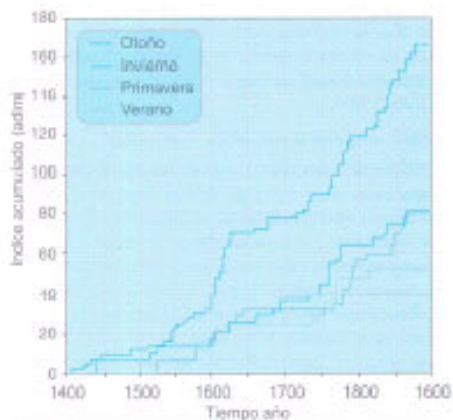


Figura 5. Evolución acumulada del índice IMINU (normalizado) estacional para las tres series, distinguiendo las diferentes estaciones del año (1401-1900)

produce un aumento de todos los índices estacionales (periodo de inestabilidad). A principios del siglo XVII se produce una ruptura en el índice otoñal, que se incrementa en 25 años (1600-1625) en un 33% de su valor final. Entre 1625 y 1725 aproximadamente se produce un periodo de calma al que le sucede un fuerte periodo de inestabilidad que se prolonga hasta el inicio del siglo XIX. Mientras que la serie de verano permanece a partir de ese momento estacionaria, las restantes estaciones vuelven a registrar un incremento de las inundaciones a partir de 1825 aproximadamente, más marcado en el caso del otoño y la primavera. A parte del análisis de la evolución secuencial de las épocas de calma e inestabilidad, un resultado interesante es la evolución paralela de los índices estacionales que denota una extensión a todas las estaciones del año de las épocas de calma o de inundaciones

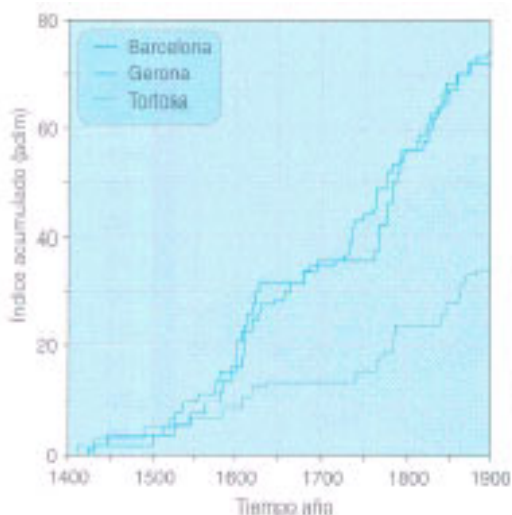


Figura 6. Evolución acumulada del índice IMINU anual para las series de Girona, Barcelona y Tortosa.

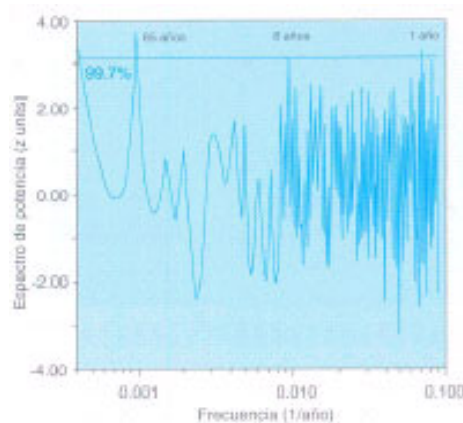


Figura 7. Espectro de potencia (MESA) para la serie conjunta Barcelona, Tortosa y Girona

La Figura 6 muestra una evolución morfológicamente semejante del índice IMINU acumulado, en el caso de Tortosa y Barcelona en tanto que en Girona, la pendiente es más constante a consecuencia del mayor número de inundaciones en esta ciudad entre 1610 y 1750. Aún así, se siguen observando los mismos periodos de calma-inestabilidad, que, básicamente, coinciden con las oscilaciones climáticas ya identificadas en el análisis a resolución anual. Lo que puede ya afirmarse es que este tipo de variación climática, por lo menos en el ámbito mediterráneo occidental, tiene una manifestación específica en los meses de otoño. La diferencia que se percibe respecto a la duración de las oscilaciones o periodos inestables puede deberse a que los otoños son estaciones más sensibles a las variaciones climáticas y las manifiestan de forma más persistente en el tiempo.

Análisis espectral de las series a resolución mensual

Los resultados del análisis espectral caracterizan las posibles periodicidades de los episodios de inundaciones en las estaciones analizadas. Los valores obtenidos ofrecen tres frecuencias significativas o fiables según el periodo temporal disponible en la actualidad: 1, 8 y 85 años. El primer valor puede responder a una componente aleatoria, propia de un régimen pluviométrico de fuerte variabilidad interanual (si bien en el tratamiento de series de precipitación mensual siempre aparece este valor en relación con la estacionalidad de las lluvias, en este caso sólo se podría asociar con el hecho de que las inundaciones se concentren en otoño). En el caso de la frecuencia de 8 años, podría tratarse de un valor ligado a procesos atmosféricos de escala espacial limitada. La experiencia directa en el tratamiento de series de inundaciones catastróficas en un sector costero catalán de cuencas hídricas poco extensas ofrece unas frecuencias alrededor de ese valor, incluso menores (Barriandos y Pomés, 1993).

La frecuencia de 85 años, más marcada en el caso de Barcelona y Girona, aparece ya en otros estudios climáticos (Gleissberg, 1965; Eddy, 1977 y Wittmann, 1978). Aunque antes de aseverar su existencia es necesario realizar más estudios, este pico presenta ya la posibilidad de considerar una gran variedad de agentes causales en el desarrollo de las oscilaciones climáticas que se han identificado y caracterizado a través del registro de inundaciones analizadas. Los procesos y las causas que desencadenan o explican este comportamiento aún están poco definidos, tanto para explicar oscilaciones climáticas como para explicar episodios climáticos de escala plurisecular, como las miniglaciaciones o los episodios de carácter opuesto. Desde la incidencia de la actividad volcánica hasta los procesos de intercambio de energía océano/atmósfera existen diferentes posibles agentes cuyo efecto individual o conjunto pueden explicar estas variaciones (Grove, 1988). Los conocimientos actuales sólo permiten emitir hipótesis, y atribuir un mayor o menor protagonismo a cada uno de los agentes causales identificados hasta el momento. Entre ellos, parece que las variaciones en la actividad solar, con sus múltiples manifestaciones (ciclo de Swabe de manchas solares, viento solar, variaciones en el campo magnético o en la actividad según regiones, etc.) constituyen un factor que probablemente está en el origen de otros factores que son propios o internos al sistema climático, pero resultantes en definitiva de una variación en la energía solar que incide en el planeta. Sus efectos no son nada despreciables, pues un 1% de variación en la radiación in-cidente puede hacer variar la temperatura media del planeta entre 1 y 2°C (Grove, 1988).

CONCLUSIONES

La objetivación y cuantificación de 12 series históricas de inundaciones en Cataluña, desde el siglo XV, ha puesto de manifiesto la existencia de tres grandes oscilaciones relacionadas con causas climáticas y que a su vez se podrían asociar con el avance y retroceso de los glaciares alpinos. Por el contrario, el aumento de inundaciones extraordinarias registrado hacia finales del siglo pasado y extendido hasta nuestros días se puede asociar a un factor antrópico, en relación con la ocupación de los lechos de los ríos y sus proximidades.

La investigación climática centrada sobre las inundaciones aún requiere un buen número de trabajos para realizar:

- Por un lado, podrían explotarse las series instrumentales meteorológicas antiguas, por el nivel de detalle que ofrecen en la reconstrucción de los episodios de inundación. En España se conocen tres series de este tipo, iniciadas en las últimas décadas del siglo XVIII, aunque todas ellas están aún inéditas y en fases previas de recopilación y tratamiento de sus registros (Barriendos *et al.*, 1997).
- Por otro lado se podría incrementar el marco temporal incluyendo la Baja Edad Media e incluso de la Alta Edad Media recurriendo, por ejemplo, a fuentes docu-

mentales de fondos monacales. De este modo, los análisis tendentes a la búsqueda de comportamientos cíclicos podrían ofrecer resultados más consistentes en las escalas temporales pluridecenales e incluso pluriseculares y los procesos atmosféricos y oceánicos que las causan y explican.

Los resultados presentados en este trabajo pueden ser aplicados en dos vertientes:

Una de ellas estaría relacionada con el análisis de la propia dinámica climática y, consecuentemente, con el posible cambio o variabilidad climática, y su impacto sobre los episodios de inundaciones. La segunda vertiente estaría referida a la determinación de zonas de riesgo y a las diversas actuaciones que a lo largo del tiempo la población civil ha ido llevando a cabo como respuesta a las inundaciones. El hecho de que las zonas aquí presentadas sigan experimentando periódicamente inundaciones más o menos graves (Llasat y Puigcerver, 1994) constituye una llamada a la reflexión.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido desarrollado dentro del Proyecto español CL195-1928-CO2-02 (CICYT, Plan Nacional del Clima) y de los Proyectos europeos FLOODAWARE (ENV4-CT96-0293(DG12-ESCY) e IMPROVE (ENV4-CT97-0511(DG12-ESCY)).

BIBLIOGRAFÍA

- Alexandre, P., (1987) Le climat en Europe au moyen age. Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales, París, 827 pp.
- Barriendos, M., (1994) El clima histórico de Catalunya. Aproximación a sus características generales (ss. XV-XIX). Departamento de Geografía Física, Universidad de Barcelona, España. Tesis de Doctorado inédita, 500 pp.
- Barriendos, M., (1997) *Climatic variations in the Iberian Peninsula during the late Maunder Minimum (AD 1675-1715): an analysis of data from rogation ceremonies*, The Holocene, 7, 1, E. Ar-nold, pp. 105-111
- Barriendos, M., Gómez, B. y Peña, J.C., (1997) *Old series of meteorological readings for Madrid and Barcelona (1780-1860). Documentary and observed characteristics*, en Martín-Vide, J. (ed.): Advances in Historical Climatology in Spain, Oikos-Tau, Barcelona, pp. 157-172
- Barriendos, M. y J. Pomés, (1993) L'aigua a Mataró. Inundacions i recursos hídrics (Segles XVIII-XX). Mataró, Caixa d'Estalvis Laietana, 278pp.
- Barriendos, M. y J. Martín-Vide, (1998) *Secular climatic oscillations as indicated by catastrophic floods in the Spanish mediterranean coastal area (14th-19th centuries)*. Climatic Change, 38, pp.473-491.
- Burg, J.P., (1975) Maximum entropy spectral analysis. Stanford, California Stanford University, 123 pp.

- Codina Vila, J. (1971) Inundacions al Delta del Llobregat. R. Dalmau, Barcelona, Col. Episodis de la Història, n^{os}. 147-148,
- Couchoud, R. (1965) Hidrología histórica del Segura. Efemérides hidrológica y fervorosa recopilada y escrita por el Dr. R. Couchoud, Centro de Estudios Hidrográficos, Madrid,
- Dodge, J.C.I., y E. Kuusisto, (1998) Report of The Second International Conference on Climate and Water. 17-20 August 1998, Finland, 48 pp, Helsinki
- Eddy, J.A., (1977) Climate and the Changing Sun. Climatic Change, 1, 173. 1977
- Fontana Tarrats, J.M. (1976) Historia del clima en Cataluña. Noticias antiguas, medievales y en especial de los siglos XV, XVI y XVII. Madrid, 248 pp. Obra inédita, mecanografiada.
- Fontana Tarrats, J.M. (1976) Historia del clima en el litoral mediterráneo: Reino de Valencia más Provincia de Murcia. Jávea, 206 pp. Obra inédita, mecanografiada
- Frenzel, B. (ed.), Climatic trends and anomalies in Europe 1675-1715. Gustav Fischer Verlag, European Science Foundation. 1994
- Glaser, R. y R. Walsh., (eds.), (1991) Historical Climatology in Different Climatic Zones, Würzburger Geographische Arbeiten, 80, Universität Würzburg
- Glaser, R. (1998) Historische Hochwässer im Maingebiet-Möglichkeiten und Perspektiven auf der Basis der Historischen Klimadatenbank Deutschland (HISKLID), en K.H. Pörtge & M. Deutsch (dirs.): Aktuelle und historische Hochwasserereignisse, Institut für Geographie, Erfurt
- Glæssberg, W., (1965) The eighty-year cycle in auroral frequency numbers. British Assoc. Jour., 75, pp. 227-231
- Grove, J., (1988) The Little Ice Age, Routledge, Londres.
- Le Roy Ladurie, (1967) E., Histoire du climat depuis l'an mil, Flammarion, Paris, pp.366
- Llasat, M.C. y M. Puigcerver, (1994) Meteorological factors associated with floods in the north-eastern part of the Iberian Peninsula. Nat. Haz., 9, (81-93).
- Llasat, M.C. y M. Puigcerver, (1997) Total rainfall and convective rainfall in Catalonia, Spain. International J. of Climatology, 17, pp. 1683-1695
- Martín Vide, J. y M. Barriendos, (1995) The use of rogation ceremony records in climatic reconstruction: a case study from Catalonia (Spain), Climatic Change, 30, pp.201-221
- Pfister, C., (1988) Klimageschichte der Schweiz, 1525-1860. Das Klima der Schweiz von 1525-1860 und seine Bedeutung in der Geschichte von Bevölkerung und Landwirtschaft, Paul Haupt, Bern
- Rico y Sinobas, M. (1851) Memoria sobre las causas meteorológico-físicas que producen las constantes sequías de Murcia y Almería, señalando los medios de atenuar sus efectos. D.S. Compagni, Madrid
- Rodriguez, R., M.C. Llasat, y E. Rojas, (1994) Evaluation of Climatic Change through Harmonic Analysis. Nat. Haz., 9, pp.5-16
- Rodriguez, R. y M.C Llasat, (1997) Análisis temporal y espectral de la serie de precipitación mensual de Barcelona (España) 1850-1991. Ingeniería del Agua, 4, 4, pp. 19-28
- Rodriguez, R., M.C. Llasat y D. Wheeler, (1999) Analysis of the Barcelona precipitation series 1850-1991, Int. J. Climatol., 19, pp.187-801
- Ross, C.H., (1975) Maximum entropy analysis, unpublished manuscript, Meteorological Office, Bracknell
- Sanz, M.(1983) El Ripoll i les seves avingudes, Col.legi Oficial de Llicenciats i Doctors de Catalunya i Balears, Sabadell
- Shannon, C.E. y W. Warren, (1959) The Mathematical Theory of Communication. The University of Illinois Press, Urbana, U.S.A.
- Wittman, A., (1978) The Sunspot cycle before the Maunder-Minimum. Astronomy and Astrophysics, 66, 93-97. 1978.

ANEXO I. REFERENCIAS DOCUMENTALES

Ter/Onyar

Documentación:

- Archivo Histórico de la Ciudad de Barcelona, Ms. B-29, J. Saconominas, "Libre de memories", 1572-1601, 1 vol.
- Archivo Histórico de la Ciudad de Girona, "Llibre Vermeil", 1 vol.
- Id., I.1.1, "Manual d'Acords", 1345-1939, 409 vols.
- Id., VII.2.5, "Bombers", 1871-1902, 6 vols.
- Id., X.4, leg. 3, "Funcions religioses. Tedeums, jubileus, rogatives".
- Id., XIII.4.5, "Aiguats", 1843-1963, 2 vols.
- Id., XXI.1, no. 6, Salvi Escarra, "Llibreta pera notar algunes coses curioses pera que constia y en tot temps se sapia comensat al Janer 1749", 1749-1753, 1 vol.
- Id., Ms. 18, Jeroni de Real, "Varias noticias y sucesos recopilats y disposats en nou assumptos o tractats...", 1637-1680, 1 vol.
- Biblioteca de Calalunya, Ms. 896, R. Sunyer, "Libre de noticies per clarission mia", Gerona, 1535-1545, 1 vol.
- Biblioteca Nacional de Madrid, Ms. 3619, Jeroni de Real, "Dietari aont eslava asenlada per diadas, mesos y anys las cosas nolables que aniran succieint en

la present Ciutat de Gerona per a ques troben en lo esdevenidor algunas delas quals serán mes llargament notadas en lo llibre del Sindich y ab lo Manual que cada any fa lo Secretari lo qual es comensat per mi Hieronim de Real iurat en cap locorrentany 1637", 1637-1683, 1 vol.

Bibliografia:

- Alberch, R.; Freixes, P.; Massanas, E. and Miró, J. (1982) Girona: Ponts, rius, aiguats, Ajuntament de Girona, Girona.
- Chía, J. (1861) Inundaciones de Gerona, Paciano Torres, Girona.
- Marqués, J. (1979) *Girona Vella*, Ajuntament de Girona, Girona.
- Marqués, J. (1981) Indrets de Girona, Ajuntament de Girona, Girona.
- Pía, J. (1944) Gerona popular, D.C. Pla, Gerona.

Barcelona

Documentación:

- Archivo de la Corona de Aragón, "Dietari de la Deputacio del General de Catalunya", 1411-1711, 109 vols.
- Archivo Capitular de la Catedral de Barcelona, "Exemplaria", 1357-1814, 6 vols.
- Archivo Histórico de la Ciudad de Barcelona, Ms. A-201 a Ms. A-252, Baró de Maldá, "Calaix de Sastre", 1769-1816, 52 vols.
- Id., Ms. A-1, "Copias de varios diarios que guarda el Ayuntamiento de Barcelona de sucesos memorables acaecidos en dicha Ciudad en diferentes tiempos desde el año 1249 hasta 1611". 1 vol.
- Id., Ms. B-153, Diego de Monfar, "Catálogo o memorial dels consellers de Barcelona y cosas notables suceydes en sos temps". 1 vol.
- Id., Ms. L-5, "Crónica del Racional", L ore de diferents constitucions del rei Pere i altres, 1334-1417, 1 vol.
- Id., Ms. A-112 a Ms. A-118, Mateu Crespí, "Diario de memorias de Barcelona y hotras partes", 1820-1849, 7 vols.
- Id., Ms. A-1 19 a Ms. A-149, Mateu Crespí, "Diario de memorias de Barcelona", 1820-1849, 31 vols.
- Id., Ms. B-100, "Dietari", 1596-1601. 1 vol.
- Id., "Dietari del Antic Consell Barceloní", 1390-1839, 49 vols.
- Id., Ms. A-20, Jaume Cafont, "Dietarios de las turbacions de Catalunya", 1 vol.
- Id., Ms. A-346, "Dietarios", f. 1-52: 1249-1535. f. 53-188: 1415-1556. 1 vol.
- Id., Ms. B-44, "Libre de cosas memorables de Barcelona", 1 vol.
- Id., Ms. B-52, "Libre de noticies", 1 vol.
- Id., Ms. A-165, R. Cornet, "Libro a mano escrito...", 1786-1800. 1 vol.

- Id., Ms. A-108, "Miscelánea de Barcelona". 1 vol.
- Id., Ms. A-22, "Notas de varias noticias tretas del Arxiu de la Ciutat de Barcelona, dels Dietaris dels anys se citan y de altres escrituras, desde el any 1329 fins al any de 1656". 1 vol.
- Id., Ms. B-99, "Noticias del que passa en Cathalunya despres de la mort del Rey dn Martí ab dietari autentich tret de la Governacio de Cathalunya". 1641-1683. 1 vol.
- Id., Ms. A-254-1, "Sucesos de Barcelona desde lo Any 1.750 fins al de 1769 inclusive". 1 vol.
- Biblioteca de Catalunya, Ms. 173, "Anals consulars de la ciutat de Barcelona formats de las mes Principals Antiguitats Prerrogativas y Sucesos de ella", 800/900-1727, 5 vols.
- Id., Ms. 1479, "Annales de la ciudad de Barcelona", 1233-1685. 1 vol.
- Id., Ms. 505, "Consellers de Barcelona desde 1249 fins 1631 y fets memorables". 1 vol.
- Id., Ms. 485, Bartolomé de Monfar, "Dietari de Guillem Mascaro", 1531. 1 vol.
- Id., Ms. 160, Pedro Juan Comes, "Libre de algunas cosas asanyalades suceydes en Barcelona y en altres pars. Dietari de Barcelona del Any 1423 a 1575". 1 vol.
- Id., Ms. 510, "Memories importants suceydes en la ciutat de Barcelona...", 1588-1600. 1 vol.
- Id., Ms. 501, Perot de Vilanova, "Memories per a sempre", 1551-1573. 1 vol.
- Id., Ms. 502, Miquel Parets, "Sucessos particulares en Catalunya desde el ano 1626 hasta el de 1660". 1 vol.
- Biblioteca de la Universidad de Barcelona, Ms. 1802-1807, Raimundo Ferrer, "Barcelona cautiva", 1811-1814, 6 vols.
- Id., Ms. 299, Fra D. Ostench, "Copia de algunas notas, que se han trobat en lo *Lumen Domus*", 1758-1808. 1 vol.
- Id., Ms. 1008-1010, Gaspar Vicens, "Cosas varias y notables sucedidas en estos nuestros tiempos", 3 vols.
- Id., Ms. 224-225, "De molts Sucessos que Han Suceit dins Barcelona i en Molts Altres Llocs de Catalunya dignes de Memoria", 1626-1660, 2 vols.
- Id., Ms. 1765, Josep Montfar i Sors, "Diario", 1683-1684. 1 vol.
- Id., Ms. 397-399, Josep Montfar i Sorts, "Diario de noticias de Barcelona (1685-1687)", 3 vols.
- Id., Ms. 966, "Directorium domus Barcinonensis, O.C.D.", 1754-1832. 1 vol.
- Id., Ms. 115, Magí Sevilla, "Historia General del Principado de Catalunya, Condados de Rosselion y Cerdanya. Desde el año 1598 hasta el ano 1640". 1 vol.
- Id., Ms. 1005-1007, F. Camprubi y P.M. Anglés, "Lu-

men Domus o Anals del convent de Santa Catarina, v. y m., O.P., de Barcelona", 1219-1803, 3 vols.

Id., Ms. 386, M. Soler, "Llibre de obits de religiosos; y altres coses curioses succeides a Barcelona, des de 6 de Juny de 1691 fins a 5 de Maig de 1775", 1691-1775. 1 vol.

Id., Ms. 156, "Noticario de Barcelona", 1815-1823. 1 vol.

Bibliografía:

Sanz, M. (1983) El Ripoll i les sèves avingudes. Col.legi Oficial de Llicenciats i Doctors de Catalunya i Balears, Sabadell.

1.3.Ebro

Documentación:

Archivo Capitular de la Catedral de Tortosa, "Actes Capitulars", 1566-1853, 217 vols.

Id., "Administración de la Sacristía", 1776-1845, 1 vol.

Id., "Libro del Revr. Clero de N.S. de la Aldea",

1828-1936. 3 vols.

Id., "Sacristía", 1489-1599, 10 vols.

Archivo Histórico Municipal de Tortosa, "Apuntes sobre inundaciones del Ebro", Comunidad de regantes, Tortosa, 1992, 1 vol.

Id., "Llibres de provisions i acords municipals", 1348-1855, 119 vols. Consulta puntual además de los años 1865,1866,1871,1884,1907 y 1941.

Bibliografía:

O'Callaghan, R. (1911) Algunos apuntes de los Anales de Tortosa. S. Isuar, Tortosa.

Fernández, D. (1867) Anales o Historia de Tortosa desde su fundación hasta nuestros días. Jaime Jepús, Barcelona.

Pastor Lluís, F. (1901) Narraciones tortosinas. páginas de Historia y Biografía. J.L. Foguet y Sales, Tortosa.

Puig, I. (1951) *Periodicidad de las épocas lluviosas y secas*, Las Ciencias, nº 16, Madrid, pp. 35-50.