

Análisis del riesgo de inundación en localizaciones puntuales: el edificio Sabatini (Toledo)

E. De Mora Jiménez y A. Díez Herrero

1. Introducción

Las inundaciones, y en particular las asociadas al desbordamiento de corrientes fluviales y torrenciales, suponen un importante montante de pérdidas económicas anuales a escala global y nacional (Pujadas, 2002). Para mitigar o tratar de minimizar este riesgo natural se pueden adoptar medidas predictivas (meteorológicas e hidrológicas), preventivas (estructurales o no estructurales) y correctoras. En cualquier caso, la adopción de unas u otras, o la combinación de ellas, precisa como paso previo la realización de un análisis y evaluación del riesgo económico, consistente en el cálculo o estimación de las pérdidas esperables, y su comparación con criterios de admisibilidad, es decir, si el riesgo es aceptable o no en una coyuntura económica determinada. El estudio de la admisibilidad debe abordarse de forma separada para el riesgo humano y para el económico, y en este último caso se realiza mediante la aplicación de criterios costo-beneficio, siendo el beneficio equivalente a la reducción de la situación de riesgo conseguida con el costo.

A pesar de la importancia económica de estas pérdidas en nuestro país (CCS, 2004; Ferrer *et al.*, 2004), no son frecuentes los estudios y trabajos que abordan el análisis de situaciones de riesgo de manera integral, limitándose en la mayor parte a estudios de la peligrosidad, e incluso sólo a algunos elementos de este factor (como la frecuencia de inundación expresada en los típicos mapas de zonas inundables para distintos períodos de retorno). De hecho, buena parte de los estudios y cartografías que llevan por título "...de riesgo...", son en realidad de susceptibilidad o peligrosidad (Díez y Pujadas, 2002).

Al contrario de lo que ocurre en otros países del centro y del norte de Europa (Alemania, Holanda, Reino Unido...), donde las compañías privadas de seguros y reaseguros realizan y financian estos estudios de riesgo, en España no existe tradición científico-técnica de estimación de situaciones de riesgo económico de localizaciones puntuales, lo que impide una adopción racional de medidas de mitigación de carácter preventivo no estructural, como los sistemas de aseguramiento de bienes, proporcionales al riesgo. En buena parte esta situación es debida a la existencia del Consorcio de Compensación de Seguros (Ministerio de Economía y Hacienda) y su procedimiento de actuación ante eventos extraordinarios de carácter natural, entre ellos las inundaciones, haciéndose cargo del abono de las indemnizaciones por daños de los bienes asegurados, independientemente de la situación de riesgo a la que estaban sometidos.

Ante esta escasez de estudios y trabajos de este tipo en España (restringidos a algunas estimaciones hechas en planes territoriales como el PATRICOVA, en la Comunidad Valenciana), cualquier desarrollo metodológico sobre un caso real puede aportar nuevas ideas y procedimientos que se pueden utilizar en el caso de tratar de racionalizar y hacer justicia en futuras modificaciones del sistema de reaseguramiento público estatal. Por ello, el objetivo de esta investigación, como reza su título, es la realización de un análisis de riesgo de inundación, en su vertiente económi-

De Mora Jiménez, E. y Díez Herrero, A., 2008. Análisis del riesgo de inundación en localizaciones puntuales: el edificio Sabatini (Toledo). En: Galindo Jiménez, I., Laín Huerta, L. y Llorente Isidro, M. (Eds.). *El estudio y la gestión de los riesgos geológicos*. Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España. Serie: Medio Ambiente. Riesgos Geológicos N.º 12. 39-52 Madrid

ca, y para una localización puntual como son los laboratorios de investigación de la parte trasera del edificio de Sabatini, ubicado en el actual campus universitario de la antigua Fábrica de Armas de Toledo.

2. El elemento de estudio: el edificio Sabatini

El rey Carlos III, a su llegada a España en 1760, realiza una reforma total de la sociedad española, gracias a una política económica e industrial encaminada a la renovación de las actividades industriales que tenían un carácter plenamente artesanal, creándose numerosas fábricas reales, entre ellas la Real Fábrica de Espadas de Toledo; el encargo lo realiza a su arquitecto Francisco Sabatini, de quien toma su apellido el edificio más antiguo del recinto fabril (Peris *et al.*, 2001).

La Fábrica de Armas se ubica en la Vega Baja de Toledo, en la margen derecha del río Tajo aguas abajo del meandro del Torno, a un kilómetro y medio hacia el O-NO del recinto amurallado de la Ciudad. La Vega Baja es una llanura formada, a lo largo del Cuaternario, por depósitos fluviales del Tajo; se extiende entre los afloramientos plutónicos y metamórficos del Macizo Ibérico, sobre los que se asienta el casco histórico de Toledo al sur; los materiales detríticos de la cuenca sedimentaria del Tajo, formada en el 'Terciario', al norte y al este; y el cauce del río al oeste.

La ubicación próxima al río y las instalaciones sobreexcavadas en la llanura de inundación (sótanos y talleres), hace que desde la inauguración de la Fábrica de Armas de Toledo en el año 1780, la actividad industrial sufra frecuentes interrupciones como consecuencia de las inundaciones. En las dos últimas décadas del siglo XVIII, al menos cuatro eventos produjeron inundaciones en la Fábrica registrados en la documentación del Archivo General de Simancas (Alonso y Díez, 2007); febrero y marzo de 1788, enero de 1792, abril de 1795, y febrero de 1796. Además existen evidencias físicas, en forma de placas ubicadas en los edificios del actual campus universitario (Uribelarrea *et al.*, 2004), de otros eventos de la segunda mitad del siglo XIX (1853, 1855 y 1860) y mediados del siglo XX (1947). De este último siglo son también los registros documentales de inundaciones (González Corrochano, 2003) en forma de noticias de prensa local (1910, 1924, 1925 y 1947) y reportajes fotográficos (1947).

En resumen, la frecuencia de ocurrencia de inundaciones en la Fábrica de Armas desde su creación ha sido alta, con un período de retorno inferior a 25-50 años. En la actualidad es muy diferente, ya que la probabilidad de inundación ha disminuido, llegando a ser de un período de recurrencia en torno a 500 años, consecuencia de la construcción de numerosos embalses (más de 30) en la cuenca aguas arriba entre los años 1900 y 1993, lo que provoca que las inundaciones de bajo período de retorno sean laminadas (González Corrochano, 2003).

Sin embargo, aunque la prioridad de actuación para la prevención de inundaciones en la Fábrica de Armas sea intermedia a escala nacional, en el ámbito autonómico es máxima puesto que es uno de los puntos de Castilla-La Mancha en el que el riesgo de inundaciones es más elevado, como se puede observar en el Mapa de Riesgo de Inundaciones según Términos Municipales, elaborado por la Fundación MAPFRE (De Mingo *et al.*, 1992), que es una adaptación del Mapa de Zonas de Riesgo Potencial de Inundación realizado por la Dirección General de Obras Públicas en 1988; al igual que el Mapa de Municipios Afectados por Inundaciones, publicado por el Consorcio de Compensación de Seguros y el IGME (Ferrer *et al.*, 2004), que refleja cómo el municipio de Toledo ha sufrido un número de 3 a 5 inundaciones en el período 1987-2002. Todo ello agravado por el hecho de que en la última década, la instalación de los laboratorios de investigación de la Universidad de Castilla-La Mancha, ha incrementado exponencialmente el valor de los bienes expuestos, al colocarse costosos y sofisticados instrumentos científicos.

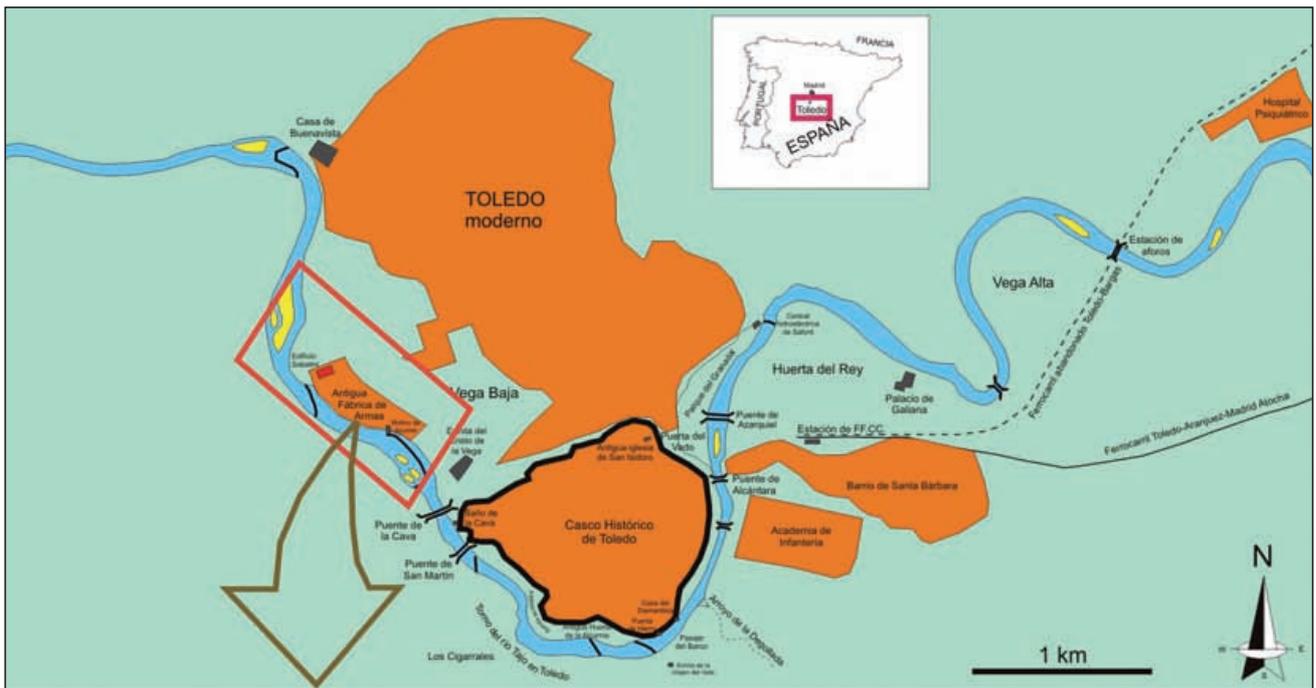


Fig. 1. Mapa de situación de la antigua Fábrica de Armas, próxima a la ciudad de Toledo; y fotografía aérea vertical del recinto fabril, con indicación de la ubicación del edificio Sabatini.

3. Metodología

Para el análisis del riesgo de inundación en el edificio Sabatini de la antigua Fábrica de Armas de Toledo se seguirá una metodología clásica de análisis de cada uno de los factores del riesgo (peligrosidad, exposición y vulnerabilidad), para posteriormente cruzarlos e integrar el riesgo total. En realidad se sigue el procedimiento denominado 'de los cuatro cuadrantes', ya que representadas las variables y parámetros estudiados en un gráfico cartesiano, se va avanzando por los cuadrantes del mismo en sentido dextrógiro (de las agujas del reloj), aplicando en los dos primeros métodos de análisis de la peligrosidad (modelos hidrológico e hidráulico), en el tercero de la exposición y vulnerabilidad (alturas versus pérdidas económicas), resultando en el cuarto cuadrante el riesgo esperable (pérdidas económicas versus períodos de retorno).

3.1. Análisis de la peligrosidad

Para el estudio de la peligrosidad de inundación del Campus Tecnológico de la Fábrica de Armas se han usado principalmente los métodos hidrológico-hidráulicos, complementado en algunos puntos del proceso con métodos históricos (Díez, 2002b).

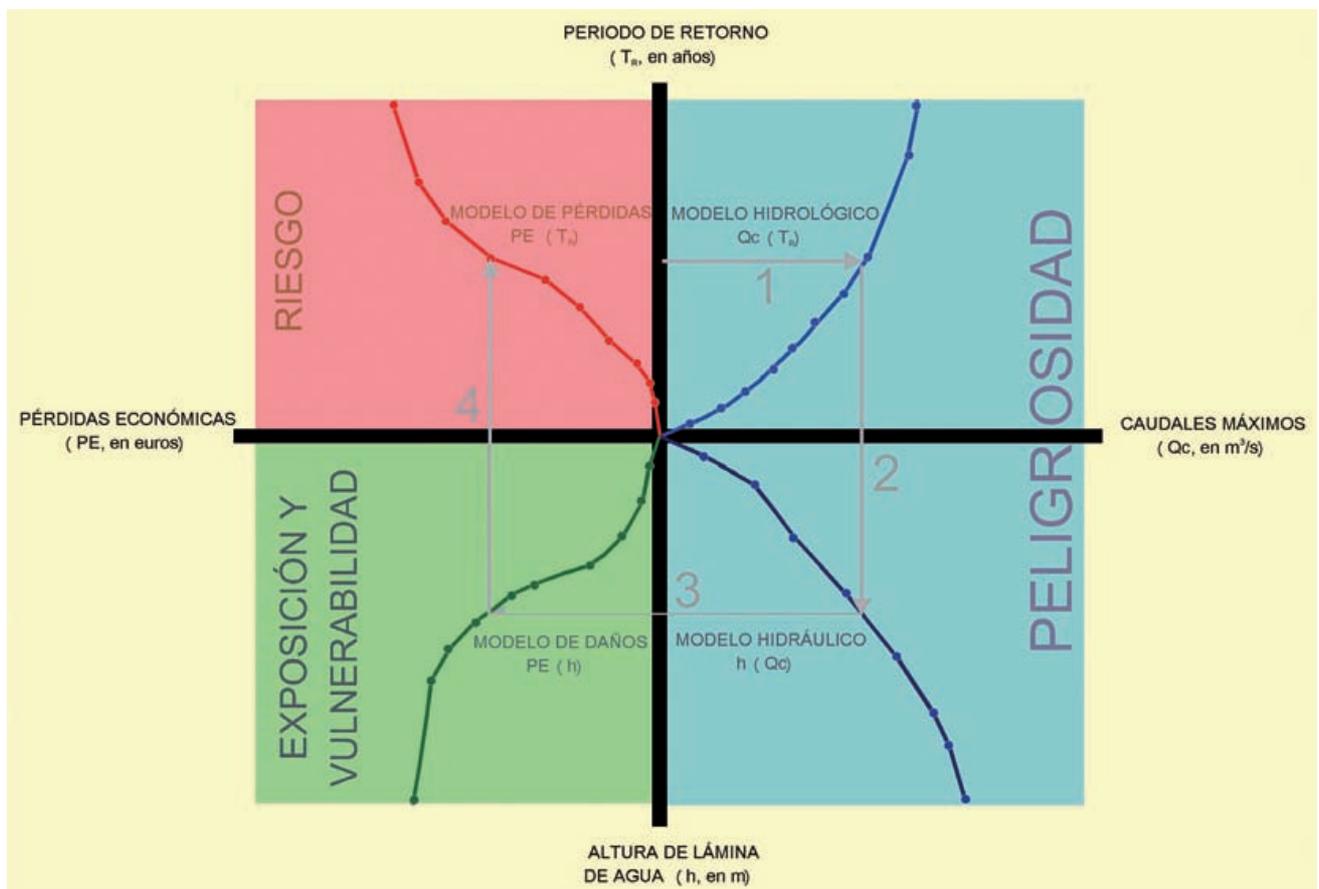


Fig.2. Metodología de los cuatro cuadrantes y métodos empleados en cada uno de ellos para la estimación final del riesgo.

La metodología de modelación hidrológica de crecidas que se va a seguir en nuestra zona de estudio es el análisis estadístico de caudales con modelos univariados sobre series anuales de máximos, y métodos paramétricos para estimar las relaciones $Q-T_r$. Para ello se utilizó el programa informático CHAC, desarrollado en el Centro de Estudios Hidrográficos (CEDEX). Se creó una base de datos con los valores de los máximos caudales de crecida de los años hidrológicos comprendidos entre 1972 y 2003 registrados en la estación de aforos número 14 del río Tajo a su paso por Toledo, y publicados por la Confederación Hidrográfica del Tajo en su página web (CHT, 2006). Para su tratamiento estadístico se ensayaron hasta ocho combinaciones de función de distribución de frecuencias y un método de estimación de parámetros y cuantiles (De Eusebio, 2006). La elección del mejor modelo estadístico (combinación) se hizo mediante observación del ajuste gráfico y el test de la χ^2 .

Para realizar la modelación hidráulica, se supone un flujo unifásico, unidimensional y en régimen gradualmente variado, ya que el modelo hidráulico unidimensional toma como información de entrada los caudales evaluados por el modelo hidrológico, con los cuales es capaz de calcular valores muy aproximados y físicamente consistentes de altura de agua, velocidad y área inundada de cada sección. Para ello se empleó el programa informático HEC-RAS, desarrollado por el *Hydrologic Engineering Center* del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de Estados Unidos (HEC, USACE). Los valores de la n de Manning adoptados fueron de 0,04 para ambas orillas y de 0,03 para el canal, en las 11 secciones situadas aguas arriba; para el resto de las secciones (10), los valores para la orilla izquierda, el canal y la orilla derecha fueron de 0,06; 0,04 y 0,075 respectivamente, por el aumento de rozamiento que producen los edificios ubicados en las márgenes y la vegetación de la isla en el canal (González Corrochano, 2003). Estos valores y las condiciones de contorno (caudales críticos en los azudes ubicados aguas arriba y abajo del tramo modelizado) se calibraron empleando las abundantes marcas de nivel y los valores de caudal conocidos del evento del 6 de marzo de 1947.

Para completar la topografía procedente del plano del Ayuntamiento de Toledo, se realizó la medición *'in situ'* de la diferencia de altura entre la base del segundo patio del edificio Sabatini y la solera de los laboratorios. Para ello se realizó la medición (empleando un flexómetro simple) de las cotas de altura de todos los escalones existentes entre el segundo patio y los laboratorios (segundo patio, sótano, canal y laboratorios de la planta baja del edificio Sabatini), para el cálculo posterior de la diferencia de altura mediante simples operaciones de suma y resta. Se utilizaron combinadamente los programas de aplicación *ArcView GIS (ESRI)* y *HEC-RAS (USACE)*, empleando el módulo o extensión HEC-GeoRAS (USACE), que permite la integración de los datos geométricos del cauce procedentes del S.I.G. (*ArcView*) en la modelación hidráulica (en HEC-RAS), así como la posterior representación del área inundable mediante interpolación de los datos de elevación de la lámina de agua de salida del modelo hidráulico (Díez, 2002a).

3.2. Análisis de la exposición y la vulnerabilidad

El análisis de la exposición y la vulnerabilidad se realizó de forma conjunta e integrada. Para ello se elaboró previamente un inventario de bienes expuestos al peligro de inundaciones en los siguientes laboratorios del edificio Sabatini: Laboratorio 0.11 (Geología), Laboratorio 0.12 (Química Analítica), Laboratorio 0.13 (Matemáticas y Física) y Laboratorio 0.14 (Química Inorgánica); por ser los más próximos al río y de menor cota topográfica.

Para inventariar los laboratorios y analizar así la exposición y vulnerabilidad se creó previamente una ficha tipo de valoración económica de bienes expuestos al peligro de inundaciones. Esta ficha de valo-

ración consta de cuatro apartados: localización del bien expuesto (posición y altura), descripción del bien expuesto (definición y dimensión), valoración económica (marca, modelo, precio de adquisición o montaje, año de adquisición, etc.), y estimación de la pérdida de valor (entre una pérdida nula y total, según la altura de lámina de agua). Las más de 170 fichas se rellenaron mediante encuestas a los responsables de los laboratorios y la consulta de la documentación de muebles y enseres y adquisición de instrumental (UCLM, 2006). Una vez obtenida la ficha de valoración económica para cada bien expuesto al peligro de inundaciones en los diferentes laboratorios inventariados, se informatizan los datos obtenidos con la aplicación informática Excel de Microsoft Office.

La estimación de la exposición y vulnerabilidad se realizó por separado para cada laboratorio y de manera conjunta, modificando la ecuación general de riesgos naturales ($R = \Sigma P * E * V$; donde R es riesgo, P es la peligrosidad, E la exposición y V la vulnerabilidad).

4. Resultados

4.1. Análisis de la peligrosidad

Los resultados obtenidos del análisis estadístico de caudales de la estación de aforos de Toledo, mediante la utilización del programa informático CHAC, son los pertenecientes al PFC de De Eusebio (2006). Según el estudio de bondad de ajuste realizado los valores de caudal (Q_c) para los períodos de retorno de 50, 100 y 500 años, la combinación de la Función Valores Extremos Generalizados (GEV) con un *Estimador de Momentos (MOM)*, es la que más se aproxima de forma gráfica y posee un buen ajuste en el test de la χ^2 . Los resultados de los diferentes caudales para los distintos períodos de retorno y que serán empleados para el estudio hidráulico son los recogidos en la Tabla 1 y la figura 3.

	PERÍODO DE RETORNO (TR , en años)								
	50	100	200	500	1.000	2.000	5.000	10.000	20.000
CAUDAL DE CRECIDA (QC) (m ³ /s)	552	616	677	754	809	861	927	975	1.020

Tabla 1. Caudales calculados en el estudio hidrológico para diferentes períodos de retorno.

Los resultados obtenidos de la modelación hidráulica, mediante la utilización del programa informático HEC-RAS quedan reflejados en la Tabla 2 y la figura 4, en la cual se indica el valor de caudal (en m³/s) para diferentes cotas absolutas de lámina de agua, que se corresponden a su vez con la altura alcanzada por la lámina de agua en los laboratorios del edificio Sabatini.

4.2. Análisis de la exposición y vulnerabilidad

Los resultados de las pérdidas económicas para las diferentes alturas de lámina de agua, en cada uno de los laboratorios objeto de estudio, son los reflejados en la Tabla 3.

CAUDAL (m ³ /s)	COTA ABSOLUTA DE LA LÁMINA DE AGUA (m)	ALTURA LÁMINA DE AGUA EN LOS LABORATORIOS SABATINI (cm)
687,47	442,74	0
906,47	443,24	50
1.029,47	443,49	75
1.158,47	443,74	100
1.282,47	443,99	125
1.439,47	444,24	150
1.624,47	444,49	175

Tabla 2. Estimación de caudales para diferentes cotas absolutas de lámina de agua y alturas de lámina de agua en los laboratorios.

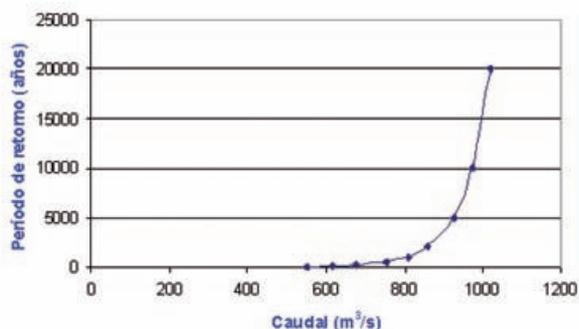


Fig. 3. Representación gráfica del período de retorno (TR) frente al caudal de crecida (Q).

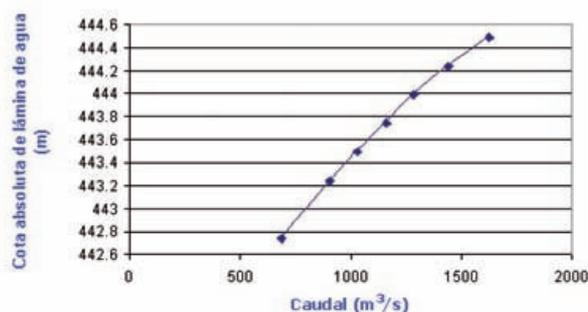


Fig. 4. Representación gráfica de la cota absoluta de la lámina de agua (h) frente al caudal de crecida (Qc) para el rango de cotas absolutas de los laboratorios de Sabatini.

LAB.	ALTURA DE LÁMINA DE AGUA (cm)						
	0	50	75	100	125	150	175
Geología	0	2.356,66	2.356,66	74.504,10	82.835,08	82.835,08	82.835,08
Química Analítica	0	269,00	269,00	120.373,89	128.191,30	138.291,30	138.291,30
Matemáticas y Física	0	0	0	4.708,60	6.001,23	6.001,23	6.001,23
Química Inorgánica	0	5.985,48	16.446,08	87.801,91	109.282,66	119.467	137.196,86
TOTAL (€)	0	8.611,14	19.071,74	287.388,50	326.310,27	346.594,61	364.324,47

Tabla 3. Pérdidas económicas totales (en euros) por altura de la lámina de agua sobre los laboratorios del Edificio Sabatini.

Las pérdidas económicas totales en función la cota absoluta de la lámina de agua figuran en la Tabla 4 y la figura 5.

Cota absoluta de lámina de agua (m)	442,74	443,24	443,49	443,74	443,99	444,24	444,49
Pérdidas económicas (€)	0	8.611,14	19.071,74	287.388,50	326.310,27	346.594,61	364.324,47

Tabla 4. Pérdidas económicas totales por cota absoluta de la lámina de agua.

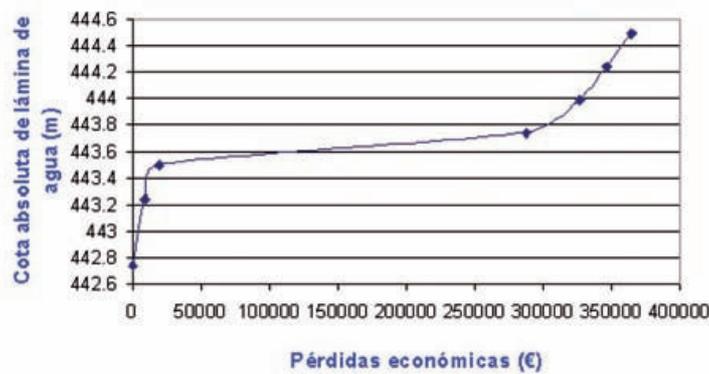


Fig. 5. Representación gráfica de la cota absoluta de la lámina de agua (h) frente a las pérdidas económicas en € (PE).

CAUDAL (m ³ /s)	PROBABILIDAD DE NO EXCEDENCIA (P _{NE})	PERÍODO DE RETORNO (T _R) EN AÑOS
687,47	0,995548243134555	225
906,47	0,999727379004595	3.668
1.029,47	0,999955872893900	22.662
1.158,47	0,999994959606897	198.397
1.282,47	0,999999549355666	2.219.044
1.439,47	0,99999989019315	91.069.003
1.624,47	0,99999999971086	34.585.475.937

Tabla 5. Período de retorno en función del caudal.

PERÍODO DE RETORNO (T _R) EN AÑOS	PÉRDIDAS ECONÓMICAS (€)
225	0
3.668	8.611,14
22.662	19.071,17
198.397	287.388,50
2.219.044	326.310,27
91.069.003	346.594,61
34.585.475.937	364.324,47

Tabla 6. Pérdidas económicas esperables en función del período de retorno.

4.3. Integración del riesgo

Los resultados obtenidos por la Función de Valores Extremos Generalizados para los caudales de la Tabla 1, reflejan la probabilidad de no excedencia (PNE), que sustituyendo en la fórmula $TR=1/(1-PNE)$, nos da el valor de período de retorno (TR) en años (Tabla 5).

Sin embargo, los valores de período de retorno correspondientes a los cuatro caudales más altos, carecen de todo significado físico, y son un simple artificio estadístico extraído de un análisis de una muestra demasiado corta como para tener validez.

Por lo tanto, las pérdidas económicas esperables en función del período de retorno, resultado del cruce de las Tablas 4 y 5, son las que muestra la Tabla 6 y figura 6, aunque sólo se tendrán en cuenta los tres primeros valores.

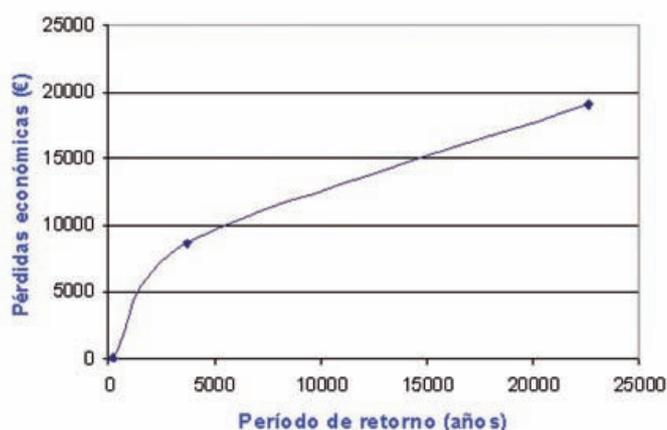


Figura 6. Pérdidas económicas esperables en función del período de retorno.

5. Aplicación práctica del análisis al sistema de seguros

Tras la evaluación del riesgo y obteniendo la inaceptabilidad (humana y económica) del mismo, deben fijarse unos objetivos de reducción del riesgo, para pasar de una situación de inaceptabilidad a una de aceptabilidad. Estos objetivos deben conseguirse de manera racional, es decir, con el mínimo coste buscando una racionalidad económica (Ayala-Carcedo, 2002).

Las medidas de mitigación de carácter preventivo se han clasificado típicamente en estructurales o de ingeniería, utilizadas en inundaciones para evitar la peligrosidad y la vulnerabilidad; y no estructurales o de gestión, utilizadas para evitar la exposición, como son la ordenación del territorio, la protección civil y los sistemas de aseguramiento.

En el caso particular de España, las compañías privadas de seguros se eximen de los pagos de las primas aseguradas para los sucesos de inundaciones extraordinarias. En estos casos existe una sociedad estatal, el Consorcio de Compensación de Seguros encargada de indemnizar en régimen de compensación, los siniestros producidos por acontecimientos extraordinarios (eventos catastróficos de la naturaleza o sucesos de repercusión social) acaecidos en España.

Por lo tanto, tras la estimación del valor del riesgo de inundaciones en el Campus Tecnológico de la Fábrica de Armas de Toledo, se debe estimar la cuantía de la póliza de seguro de riesgos extraordinarios a suscribir por la Universidad de Castilla-La Mancha (UCLM) ante eventos de inundaciones, al con-

siderarse estas cuantías como el coste de las medidas de mitigación. Las cuantías de esas pólizas se obtienen a partir del cálculo de las pérdidas económicas anuales esperables para diferentes períodos de retorno, que serán la cantidad de bienes que se van a asegurar por la UCLM, más la aplicación de unas tarifas de recargo a favor del Consorcio de Compensación de Seguros para la contratación de dicha póliza de seguros de riesgos extraordinarios.

Para estimar el valor anual medio de las pérdidas esperables, bastaría con calcular el área bajo la curva de la figura 6 y dividirla por el valor del eje de abscisas; o lo que es lo mismo, la integral definida entre 0 y el valor máximo de x en la curva, dividida por ese valor máximo de x . Como los cuatro valores más altos se consideran carentes de sentido físico, la estimación queda reducida a una poligonal con dos tramos de rectas entre los tres primeros valores, con lo que el área bajo la poligonal queda definida por simples sumas de áreas de triángulos y rectángulos. Calculando de esta forma el área y dividiéndola por el valor máximo de x considerado ($T_R = 22.662$ años), el resultado de valor anual medio de pérdidas es de 11.601,11 euros.

Esto considerando la postura conservadora (por el lado de la seguridad) de tomar como período de retorno de referencia los 22.662 años. Si se desea ser menos conservador y tomar sólo como válidos los dos primeros puntos para el cálculo del valor anual medio de pérdidas esperables (período de retorno de referencia 3.668 años), el resultado es de 4.006,25 euros, bastante más reducido (Figura 7).

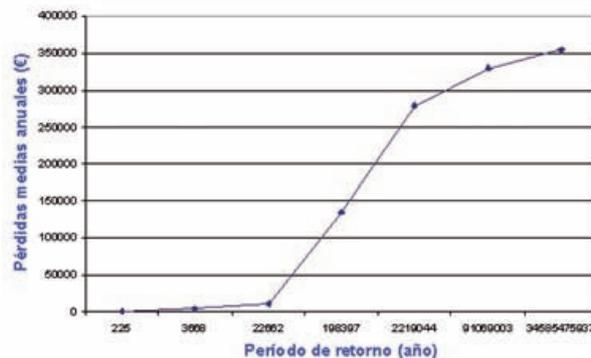


Figura 6. Pérdidas económicas esperables en función del período de retorno.

Según el apartado A de las tablas del Consorcio de Compensación de Seguros (CCS, 2005), la clase de riesgo es industrial (fábricas, talleres, almacenes y otros establecimientos donde se realice una actividad industrial, equipos electrónicos, centros de transformación eléctrica, y cualquier clase de maquinaria industrial), por lo que la tasa general de aplicación a la prima para daños en los bienes es de 0,25 por mil del capital total asegurado. De esta forma la tarifa de recargo a favor de CCS, será la contenida en la Tabla 7.

A la hora de suscribir una póliza de seguros, no sólo se deben considerar los daños en los bienes, sino que se han de considerar también los perjuicios a las personas (trabajan diariamente en torno a 10 – 15 investigadores) y el lucro cesante, ya que la actividad desarrollada en esos laboratorios es investigación científica, por lo que en caso de un suceso de inundación se pueden perder jornadas de trabajo, ensayos, datos e información de incalculable valor.

PERÍODO DE RETORNO CONSIDERADO (años)	PÉRDIDAS MEDIAS ANUALES (€)	RECARGO A FAVOR CCS (€)
255	0	0,00
3.668	4.006,25	1,00
22.662	11.601,11	2,90

Tabla 7. Tarifa de recargo a favor del CCS en función de las pérdidas medias anuales.

6. Discusión y conclusiones

6.1. Aportaciones y limitaciones metodológicas

Este estudio constituye una de las primeras aproximaciones metodológicas para la estimación del riesgo (no sólo la peligrosidad) de inundaciones realizados en España. Y desde luego el primero y único conocido de estimación del riesgo en el ámbito local y con este grado de detalle en las estimaciones. Por ello, la metodología empleada, con las consiguientes adaptaciones a cada situación y/o disponibilidad de información, es perfectamente aplicable a otros estudios futuros. A pesar de ello, existen una serie de carencias y circunstancias que quisiéramos resaltar a modo de conclusiones.

La frecuencia y severidad de inundaciones en el Campus Tecnológico de la Fábrica de Armas de Toledo es menor a lo que fue en el pasado (50 años atrás), debido principalmente a la construcción de presas de embalse en el río Tajo y sus afluentes en su tramo anterior a la ciudad de Toledo, generando un efecto de laminación de los caudales en eventos de crecidas. La serie de 26 máximos caudales medios diarios utilizados en el análisis estadístico de caudales hace dudar del mismo, ya que para que la muestra sea representativa se requieren como mínimo 30 datos, pero la estación de aforos de Toledo se estableció en 1972, por lo que sólo se dispone de datos desde esa fecha, y además con una serie incompleta.

Otro problema es la utilización de modelos hidráulicos unidimensionales, que suponen que el flujo del río se produce únicamente en una dirección, mientras que en la naturaleza el flujo es siempre tridimensional. Esta simplificación podría ser válida en ríos rectos en zonas montañosas (gargantas y desfiladeros), pero tiene problemas en llanuras de inundación como la del Tajo en Toledo, máxime cuando existen obstáculos en la llanura, como los edificios de la Fábrica de Armas. Sin embargo los modelos bidimensionales y tridimensionales no están fácilmente disponibles comercialmente, y precisan información topográfica de entrada no existente en el caso que nos ocupa.

La consideración de que el caudal que circula regularmente por el río Tajo a su paso por el Campus Tecnológico de la Fábrica de Armas de Toledo, es el caudal medio obtenido en la estación de aforos de Toledo en la serie de años 1972–2003 (44,47 m³/s), por la inexistencia de la digitalización de la geometría hidráulica del río Tajo en este tramo, genera dificultades en el cálculo de la modelación hidráulica de crecidas.

El denominado 'efecto mesa' (Figura 5) en los laboratorios del edificio Sabatini, (punto a partir del cual se disparan las pérdidas económicas esperables, por ser la altura alcanzada por las mesas de los laboratorios sobre la que se asientan la mayoría de los aparatos electrónicos), es una medida de mitigación pasiva al riesgo de inundaciones, puesto que al encontrarse los aparatos a una mayor altura se requieren caudales de crecida mayores (menos frecuentes), para ocasionar daños en los mismos.

El valor del riesgo de inundación en el Campus Tecnológico de la Fábrica de Armas de Toledo es muy

elevado, aunque el valor de peligrosidad sea bajo, porque la exposición y la vulnerabilidad, tienen un valor muy elevado. Las pérdidas económicas anuales esperables varían en función del período de retorno considerado como fuente de cálculo. Dependiendo de la postura considerada, las pérdidas económicas anuales esperables serán de 11.601,11 euros para la postura más conservadora o menos arriesgada ($T_R= 22.662$ años) y de 4.006,25 euros para un planteamiento menos conservador o más arriesgado ($T_R= 3.668$ años). Todos estos cálculos y estimaciones requieren actualizaciones periódicas, tanto de la parte de análisis de la peligrosidad (al disponerse de series de caudales máximos más completas), como el inventario de los elementos expuestos (al cambiarse continuamente el instrumental y modificarse su valor en el tiempo).

6.2. Sobre las aplicaciones prácticas de los resultados

El estudio del análisis de riesgo de inundaciones (peligrosidad, exposición y vulnerabilidad) permite el estudio de medidas de mitigación, una vez determinada la inaceptabilidad del riesgo, encaminadas a la reducción de dicho riesgo.

A partir de los resultados obtenidos, con un simple cambio en la distribución interna de los laboratorios encaminada a la elevación las alturas de las mesas de los laboratorios o a un aumento de la altura de la base a la que se encuentran los aparatos electrónicos de mayor valor económico, permitiría una disminución significativa de las pérdidas económicas esperables ante un evento de crecidas.

La obtención de las pérdidas económicas anuales esperables en función del período de retorno, permite mitigar el riesgo de inundaciones mediante la contratación de pólizas de aseguramiento de riesgo de inundaciones con recargo a favor del Consorcio de Compensación de Seguros. Estos resultados permiten tomar a su vez posturas muy diferentes en función de los intereses y los bienes a asegurar por la UCLM, debiendo ser ésta la que tome la decisión final de suscribir o no dicha póliza de aseguramiento para así poder cobrar las hipotéticas indemnizaciones del Consorcio de Compensación de Seguros en caso de inundación, así como la postura de aseguramiento que se quiera considerar (más o menos conservadora o arriesgada).

7. Agradecimientos

Buena parte de los contenidos de este estudio se han extraído de las memorias de los proyectos de fin de carrera de Beatriz González Corrochano (2003), Inés de Eusebio (2006) y fundamentalmente Enrique de Mora (2007), todos ellos dirigidos por Andrés Díez Herrero (IGME), y presentados en la Facultad de Ciencias del Medio Ambiente de la Universidad de Castilla-La Mancha. Estos trabajos se enmarcan en el proyecto de investigación "Incorporación de métodos geológicos al análisis de peligrosidad por avenidas catastróficas (GEORIADA)" de la convocatoria interna de proyectos I+D del IGME; también han sido parcialmente financiados en el marco del futuro Plan Especial de Protección Civil ante el riesgo de inundaciones en Castilla-La Mancha (PRICAM) en el que el IGME elabora el análisis de riesgo (proyecto RICAM) para la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha. Por último, los autores desean agradecer su colaboración a Pablo J. López y Alfonso Nájera del Consorcio de Compensación de Seguros (Ministerio de Economía y Hacienda), Miguel Francés y el personal de la Facultad de Ciencias de Medio Ambiente de la Universidad de Castilla-La Mancha (en especial a los doctores José M. Bodoque y Jacinto Alonso). Las revisiones y sugerencias de Pablo Máyer mejoraron el manuscrito final y lo hicieron más legible.

8. Bibliografía

- Alonso, J. y Díez, A. 2007. *Paseo geológico por los alrededores de la ciudad de Toledo*. Diputación Provincial de Toledo, Toledo, 91 pp.
- Ayala-Carcedo, F.J. 2002. Riesgos Naturales. Introducción al análisis y gestión de riesgos. En: Olcina, J. y Ayala-Carcedo, F.J. (coord.), *Riesgos Naturales*, Capítulo 6, Editorial Ariel, Barcelona 133-145.
- CCS 2004. *Estadística Riesgos Extraordinarios*, Serie 1971-2003. Consorcio de Compensación de Seguros, Madrid, 148 pp.
- CCS 2005. Recopilación legislativa, *Capítulo Reglamento del seguro de Riesgos Extraordinarios*, pp. 43-52, Consorcio de Compensación de Seguros, Madrid, 156 pp.
- CHT 2006. *Caudales máximos anuales de la estación nº 14 (Toledo)*. Confederación Hidrográfica del Tajo Ministerio de Medio Ambiente, en <http://www.chtajo.es> (consultada el día 25-09-2006).
- De Eusebio, I. 2006. *Estudio del riesgo de inundaciones en los núcleos de población de la provincia de Toledo: Análisis de inundabilidad en la Vega Alta de Toledo*. Proyecto Fin de Carrera, Universidad de Castilla-La Mancha, Facultad de Ciencias del Medio Ambiente, Toledo, 118 págs (inédito).
- De Mingo, L; Piserra, M.T. y Busón, C. 1992. Zonificación de niveles de riesgo de inundación. En *Estudio Técnico Asegurador de los Riesgos de la Naturaleza en España*. Sección III, Capítulo 5.1, Fundación Mapfre Estudios, 307-312.
- De Mora, E. 2007. *Análisis del riesgo de inundaciones en el Campus de la Fábrica de Armas de Toledo*. Proyecto Fin de Carrera, Universidad de Castilla-La Mancha, Facultad de Ciencias del Medio Ambiente, Toledo, 150 pp. (inédito).
- Díez Herrero, A. 2002a. Aplicaciones de los Sistemas de Información Geográfica al análisis del riesgo de inundaciones fluviales. En: L. Laín Huerta (ed.), *Los Sistemas de Información Geográfica en la gestión de los Riesgos Geológicos y el Medio Ambiente*, Capítulo 4, IGME (Ministerio de Ciencia y Tecnología), Madrid, 87-112.
- Díez Herrero, A. 2002b. Condicionantes geomorfológicos de las avenidas y cálculo de caudales y calados. En: F.J. Ayala Carcedo y J. Olcina Cantos (coords.), *Riesgos Naturales*. Cap. 49, págs. 921-952, Editorial Ariel, Ariel Ciencia, 1ª edición, Barcelona, 1512 pp.
- Díez Herrero, A. y Pujadas Ferrer, J. 2002. Mapas de riesgos de inundaciones. En: F.J. Ayala Carcedo y J. Olcina Cantos (coords.), *Riesgos Naturales*. Cap. 53, págs. 997-1012, Editorial Ariel, Ariel Ciencia, 1ª edición, Barcelona, 1512 pp.
- Ferrer, M., González de Vallejo, L., García López-Davalillo, J.C., Rodríguez, A, Estévez, H. y Trimboli, M. 2004. *Pérdidas por terremotos e inundaciones en España durante el período 1987-2001 y su estimación para los próximos 30 años (2004-2033)*. Consorcio de Compensación de Seguros e Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, 126 pp.
- González Corrochano, B. 2003. *Análisis de la peligrosidad de inundaciones en el Campus de la Fábrica de Armas de Toledo*. Proyecto Fin de Carrera, Universidad de Castilla-La Mancha, Facultad de Ciencias del Medio Ambiente, Toledo, 46 pp. + anexos.
- Peris, D., Elvira, R. y De Lucas 2001. *El edificio Sabatini en la Fábrica de Armas de Toledo*. Universidad de Castilla-La Mancha, 192 pp.
- Pujadas, J. 2002. Las inundaciones en España: Impacto Económico y Gestión del Riesgo. En: F.J. Ayala Carcedo y J. Olcina Cantos (coords.), *Riesgos Naturales*. Capítulo 47, Editorial Ariel, Barcelona, 878-912.
- UCLM 2006. *Catálogo de aparatos de laboratorio comprados por la Facultad de Ciencias del Medio Ambiente de la UCLM*. Decanato Facultad Ciencias del Medio Ambiente, Documento interno inédito, Toledo, 39-45.
- Uribelarrea, D., Díez-Herrero, A. y Benito, G. 2004. Actividad antrópica, crecidas y dinámica fluvial en el sistema Jarama-Tajo. En: G. Benito y A. Díez Herrero (eds.), *Itinerarios geomorfológicos por Castilla-La Mancha*, SEG y CSIC, Madrid.

