

Módulo: Recursos hídricos

**MEDIDAS
ESTRUCTURALES Y
MEDIDAS NO
ESTRUCTURALES DE
DEFENSA FRENTE A
INUNDACIONES.**

**ABRAHAM GARCÍA PEÑA
PROYECTO Y CONTROL S.A.**

Sumario

1 INTRODUCCIÓN.....	3
2 LAS RESPUESTAS: MEDIDAS DE DEFENSA FRENTE A AVENIDAS.....	5
2.1. CRITERIOS DE ACTUACIÓN.....	5
2.1.1. <i>Criterios básicos.....</i>	5
2.1.2. <i>Criterios técnicos.....</i>	6
2.2. NIVELES DE PROTECCIÓN.....	8
2.3. ACTUACIONES ESTRUCTURALES.....	10
2.3.1. <i>Actuaciones estructurales que reducen los caudales punta.....</i>	11
2.3.2. <i>Actuaciones que reducen los niveles de inundación.....</i>	12
2.3.3. <i>Actuaciones que reducen la duración de la inundación.....</i>	13
2.4. ACTUACIONES NO ESTRUCTURALES.....	14
2.4.1. <i>Cartografía de riesgo.....</i>	14
2.4.2. <i>Ordenación de las zonas inundables.....</i>	16
2.4.3. <i>Sistemas de alerta temprana.....</i>	19
2.4.4. <i>Seguros.....</i>	20
2.4.5. <i>La planificación de protección civil ante el riesgo de inundaciones.....</i>	21
8. REFERENCIAS.....	22

MEDIDAS ESTRUCTURALES Y MEDIDAS NO ESTRUCTURALES DE DEFENSA FRENTE A INUNDACIONES.

Abraham García Peña
PROYECTO Y CONTROL S.A.

1 Introducción.

El objeto del presente informe es el análisis de las medidas de defensa que se pueden adoptar para la defensa frente a las inundaciones.

Aunque las crecidas son, en su origen, un fenómeno natural eminentemente físico e hidrológico (respuesta de caudales altos a las fuertes tormentas), en su desarrollo sobre zonas donde hay actividades humanas se convierten en un problema territorial, con amplias repercusiones socioeconómicas.

En los apartados que siguen se revisan las ideas básicas sobre el problema, ofreciéndose un marco conceptual global que permite encajar y valorar las distintas y complejas opciones y soluciones posibles de forma coordinada, dentro de un plan general y unitario de actuación.

Los factores implicados en el problema de las inundaciones están íntimamente interrelacionados. En la figura 1 se ha plasmado la metodología DPSIR (*Driving forces, Pressures, State, Impacts and Responses*) (ETC-IW, 1998) que muestra las relaciones entre los factores que afectan al problema.

Las **causas origen** de las inundaciones (*Driving forces*) son las precipitaciones y las características físicas de la cuenca y de la llanura de inundación. Las **presiones** (*Pressures*) son los factores que inducen e intensifican las crecidas y sus impactos. La **caracterización** hidrológica del fenómeno (*State*) depende del tipo de avenida y de la probabilidad con que se presenta. Los **impactos** (*Impacts*) son los efectos que sobre el medio ambiente y sobre el medio socioeconómico tienen las crecidas. Las **Respuestas** (*Responses*) son las medidas de defensa empleadas para limitar las inundaciones (estructurales) y sus efectos (no estructurales).

Estas últimas, las respuestas, son el objeto de la clase que se imparte.

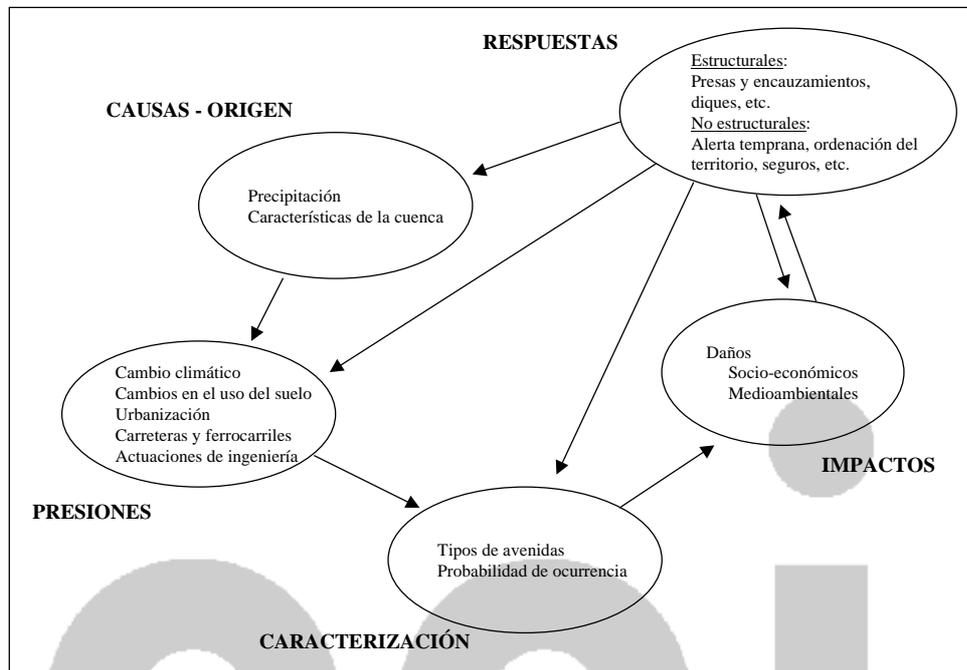


Figura 1. Factores relacionados en las inundaciones. (Adaptado de ETC-IW, 1998)

2 Las respuestas: medidas de defensa frente a avenidas

2.1. Criterios de actuación

2.1.1. *Criterios básicos.*

Las actuaciones de defensa contra inundaciones deberían regirse por una serie de criterios básicos que aseguren su eficacia en la reducción de daños. En el “Libro Blanco del Agua en España” (MIMAN, 1998 a), se reseñan los siguientes, que tienen carácter universal:

- **Coordinación.** Se hace necesaria una actuación conjunta y coordinada de las distintas administraciones e instituciones implicadas (Ministerio de Medio Ambiente, Protección Civil, etc), con una delimitación clara de objetivos y cometidos.
- **Descentralización.** Las áreas inundables de primer orden parecen requerir una actuación desde la Administración central, si bien con participación de las administraciones locales por la índole territorial del problema, pero en el resto de las zonas los problemas pueden ser resueltos por las autoridades locales y departamentales, contando con el asesoramiento de los Organismos de Cuenca (Título VII, Capítulo II del Texto Refundido de la Ley de Aguas).
- **Separación de daños.** Es necesario el desarrollo de programas orientados a objetivos diferenciados. En los programas específicos para la reducción del número de víctimas las actuaciones sobre la red viaria y los sistemas de previsión y alerta deben jugar un papel fundamental. En los programas para la reducción de daños agrícolas se debe incidir en la creación de seguros agrarios.
- **Realismo.** Debe admitirse que el problema de las inundaciones no admite soluciones definitivas, por lo que siempre ha de aceptarse un cierto riesgo residual. No existe, ni puede existir, la seguridad completa frente a las inundaciones, sino únicamente la disminución del riesgo. Por ello, parece lógico fijar como objetivo unos umbrales de protección estructural adecuados que permitan lograr niveles homogéneos de seguridad en todo el territorio y cubrir los riesgos superiores con programas de medidas no estructurales.
- **Respeto al medio ambiente.** Debe evitarse el deterioro injustificado de los ecosistemas fluviales, potenciando las medidas de tipo no estructural. Cuando las medidas estructurales resulten imprescindibles, deberán buscarse soluciones lo menos agresivas posible que permitan minimizar el impacto sobre el medio ambiente.
- **Prevención.** Los problemas de inundabilidad deben ser prevenidos antes de que se requieran intervenciones futuras. Evitar la ocupación urbana de zonas inundables y

orientar el crecimiento de las ciudades hacia zonas seguras es el mejor método para evitar dichas intervenciones. Es básico retener la idea fundamental de que, en sociedades hidráulicamente desarrolladas, el problema de las inundaciones se traslada del campo de las infraestructuras al de la ordenación territorial.

- **Transparencia.** Es preciso realizar un esfuerzo para presentar con realismo los riesgos asumidos y explicar con claridad los objetivos de las medidas adoptadas. Los mapas de riesgo deben realizarse y ser divulgados y difundidos no sólo entre Administraciones y técnicos, sino también entre los ciudadanos.

2.1.2. *Criterios técnicos*

Los parámetros que definen la gravedad de una inundación son el nivel del agua (calado), su velocidad, la duración de la inundación y el tiempo de respuesta.

El **nivel del agua** marca la gravedad de los daños materiales. Un nivel superior a 0,8-1 m implica daños totales, mientras que un nivel inferior a 0,3-0,4 m supone unos daños muy reducidos. De acuerdo con los calados y los periodos de retorno, se ha propuesto distinguir las siguientes zonas de riesgo en el “Libro Blanco del Agua en España” (MIMAM, 1998 a):

- **Zonas de riesgo bajo:** Son aquellas donde cabe esperar inundaciones de calado reducido (menor de 0,4 m) con periodo de retorno superior a 25 años.
- **Zonas de riesgo medio:** Aquéllas con calado intermedio (entre 0,4 y 0,8 m) y periodo de retorno superior a 100 años, o con calado reducido y retorno inferior a 25 años.
- **Zonas de riesgo alto:** Aquéllas con calado intermedio o alto y periodo de retorno inferior a 100 años.

La **velocidad** es un buen indicador de los daños, tanto materiales (sobre todo en cultivos) como humanos. Una velocidad superior a 1 m/s significa un riesgo alto. Por ello es aconsejable añadir a la definición de zona de riesgo alto, la condición de que la velocidad sea superior a 1 m/s, sea cual sea el calado esperado.

Asimismo, una combinación crítica de niveles y velocidades da lugar al concepto de **peligrosidad**. La condición de “*inundación peligrosa*” va asociada a situaciones en las que peligra la integridad física de una persona y ha sido definida (Estrela y Témez, 1.993) como: “*calados superiores a 1 m, velocidades mayores de 1 m/s y situaciones en las que el producto de ambas variables sea mayor a 0,5 m²/s*”.

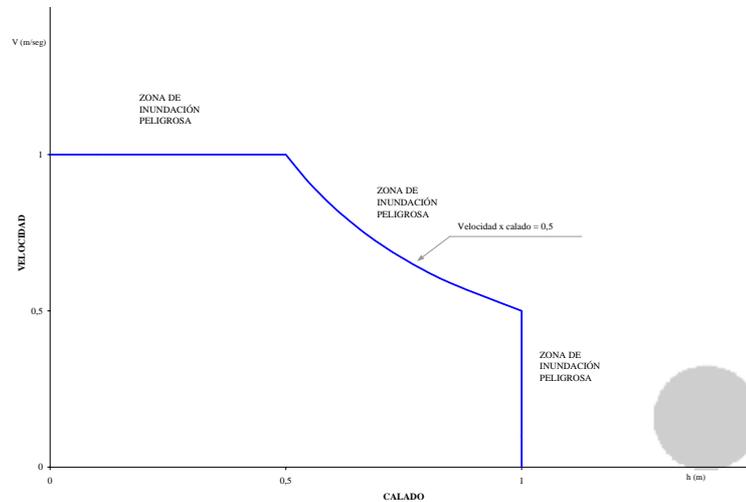


Figura 2. Zonas de inundación peligrosa

La **duración de la inundación**, tiene trascendencia fundamentalmente en los daños agrícolas y en la interrupción de las vías de comunicación.

El **tiempo de respuesta de una cuenca** determina fuertemente el riesgo para vidas humanas. Se puede aproximar por el tiempo de concentración de la cuenca: cuanto mayor sea el caudal esperable y menor el tiempo de respuesta, más probables son las víctimas por el efecto sorpresa. Dado que razonablemente se precisan al menos dos o tres horas desde que empieza a registrarse una lluvia torrencial hasta que se puede alertar a la población y movilizar los servicios de contingencia, las cuencas con tiempo de respuesta inferior han de basar su protección exclusivamente en medios pasivos. Por el contrario, con tiempos de respuesta superiores a un día el riesgo de víctimas es mucho menor y los daños deberían ser básicamente materiales.

En cuanto a las actuaciones necesarias, su propia variedad y la diferente escala de los problemas hacen recomendable una organización de tipo sectorial, mediante programas horizontales que agrupen medidas de la misma índole. Estos programas podrían estructurarse de la forma siguiente:

- Reforestación, para la reducción de caudales sólidos.
- Sistemas de previsión y alerta temprana (red SAIH instalada en las Confederaciones Hidrográficas) que se considera un instrumento clave para una moderna gestión de las situaciones hidrológicas críticas.
- Actuaciones estructurales, que podrían englobar los subprogramas de presas de laminación, encauzamientos y actuaciones fluviales y seguridad y vigilancia de presas.
- Medidas urbanísticas, entre las que debería contemplarse la adecuación de la legislación urbanística para considerar el riesgo de inundación (mapas de riesgos) en el trámite urbanístico, la elaboración de normas urbanísticas de protección contra inundaciones y la adaptación a la inundabilidad de los planes urbanísticos ya aprobados.

- Actuaciones sobre la red vial, con el doble objetivo de salvar vidas humanas y reducir los daños por interrupción del servicio, incluyendo la supresión de puntos negros y la señalización y balizamiento de badenes y tramos inundables.
- Programa de seguros, orientado a la protección de bienes agrícolas.
- Plan de adquisición y renaturalización de áreas ribereñas.

Para garantizar la eficacia de las actuaciones en las zonas inundables más importantes es preferible agruparlas sobre cada una de las áreas inundables de primer orden en un plan de actuación coordinado entre las diferentes administraciones implicadas. Un plan de actuación de este tipo debería incluir mapas de riesgo (escala 1:5.000), mapas urbanísticos del planeamiento existente, estudio hidrológico de caudales, modelo matemático del comportamiento hidráulico, programa de medidas estructurales, estudio de impacto y programa de adecuación ambiental de las soluciones, programa de adaptación de las normativas urbanísticas aprobadas, programa de explotación en emergencia de los embalses, en su caso, inventario y programa de actuaciones sobre los equipamientos, programa de actuaciones sobre la red viaria, etc.

2.2. Niveles de protección.

La determinación del nivel de protección óptimo es otra de las cuestiones sobre las que cabe adoptar diversos criterios. Por una parte, la adopción de un nivel muy alto implica grandes inversiones y supone la realización de pocas intervenciones al año. Por otra, es inadmisibles la presentación frecuente de daños por inundación. El deseable equilibrio puede consistir en proteger los núcleos urbanos actualmente en riesgo con medidas estructurales de defensa frente a crecidas ordinarias y moderadamente graves, de modo que no más de una vez en una generación se sufra la inundación, y confiar a las medidas no estructurales la protección suplementaria frente a las crecidas extraordinarias.

Por otra parte, no deben aplicarse a los encauzamientos los mismos criterios utilizados en el diseño de grandes presas (caudales de periodo de retorno 500 ó 1000 años en la legislación española). Estos retornos tan altos se adoptan, y deben ser mantenidos, porque la presa, si resulta sobrepasada, puede introducir un grave riesgo adicional. Pero en un encauzamiento el desbordamiento no agrava la situación antecedente, excepto si la línea de agua va muy por encima del terreno, lo que no es en absoluto recomendable aunque, sucede irremediamente en algunas ocasiones. Un periodo de retorno razonable para el diseño de encauzamientos puede ser 100 años, pudiendo reducirse a 25 o aumentarse a 500 años en función de la naturaleza del área protegida y del impacto territorial causado.

En el caso de las zonas agrícolas, un alto nivel de protección solo estaría justificado en áreas inundables de gran extensión y con cultivos de alto valor, de modo que los daños probables evitados fueran mayores que el coste de las obras más la posible afección al ecosistema fluvial. No parece lógico diseñar protecciones para periodos de retorno superiores a 50 años en estas zonas.

En la figura adjunta se muestra un ejemplo de niveles de protección en función del uso del suelo adaptado de (ETC-IW, 1.998).

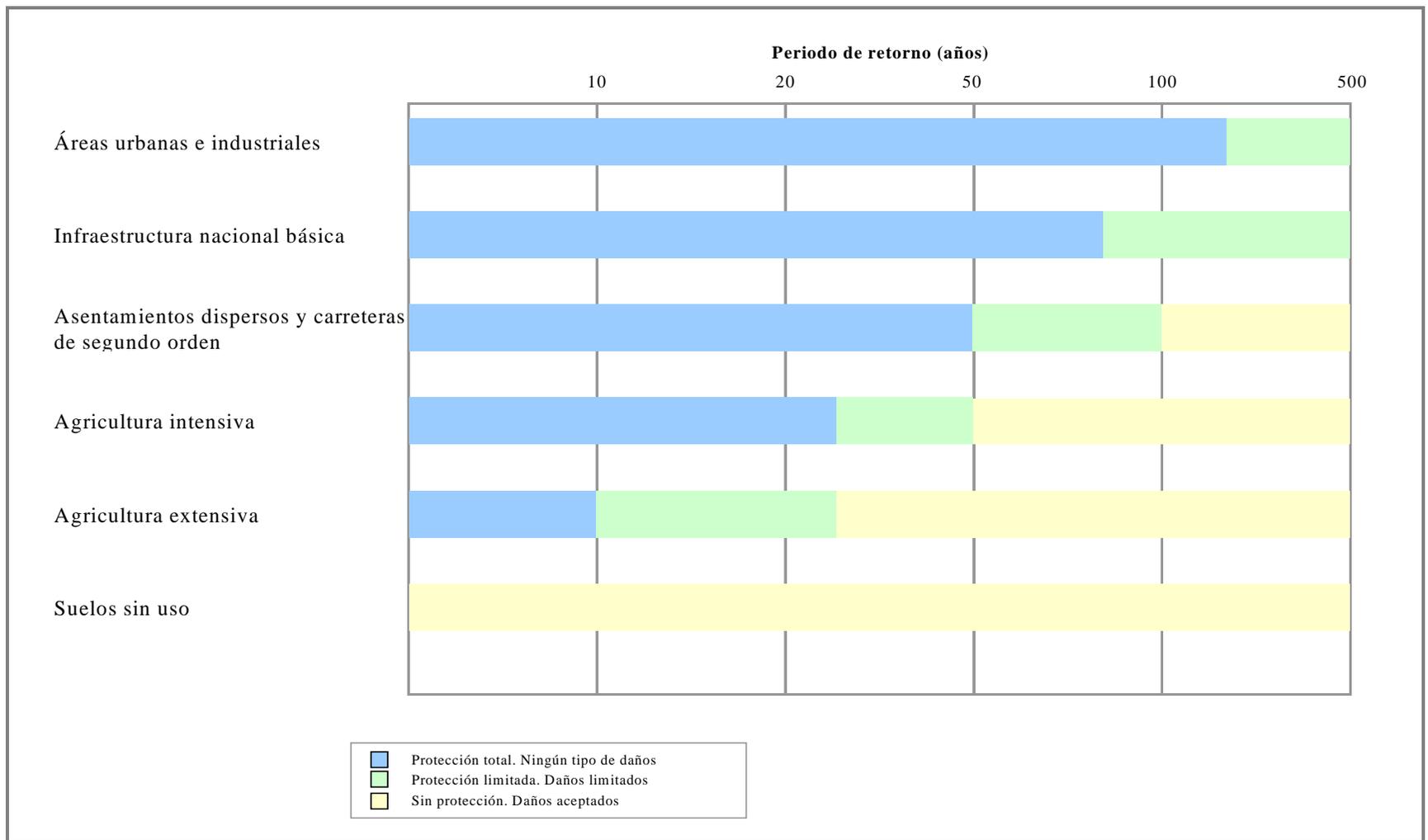


Figura 3. Ejemplo de niveles de protección frente a inundaciones en función del uso del suelo. (Traducido de ETC-IW, 1998).

En relación con los criterios de zonificación, en la tabla se muestra un posible esquema teórico de los diferentes usos del suelo admisibles para zonas de nuevo planeamiento que deban desarrollarse en áreas inundables. Este esquema ha sido propuesto en el “Libro Blanco del Agua en España” (MIMAM, 1.998 a):

TIPO DE ZONA	Agrícola	Ganadero	Suelo residencial		Suelo industrial		Industria molesta	Equipamientos ⁽⁹⁾		
			Baja Dens.	Alta Dens.	I.Ligera-Servicios	I.Pesada		insalub. o peligrosa	A	B
INUNDABLE										
Riesgo alto	SI ⁽¹⁾	NO	NO ⁽³⁾	NO	NO ⁽³⁾	NO	NO	NO ⁽⁶⁾	NO ⁽⁶⁾	SI ⁽⁸⁾
Riesgo medio	SI	SI ⁽²⁾	SI ⁽⁴⁾	SI ⁽⁴⁾⁽⁶⁾	SI ⁽⁴⁾⁽⁶⁾	NO	NO	NO ⁽⁶⁾	NO ⁽⁶⁾	SI ⁽⁷⁾
Riesgo bajo	SI	SI ⁽²⁾	SI ⁽⁵⁾	SI ⁽⁵⁾	SI ⁽⁵⁾	SI ⁽⁴⁾⁽⁶⁾	NO	NO ⁽⁶⁾	SI ⁽⁵⁾	SI

(1) Restricciones en las instalaciones permisibles para uso de la explotación agrícola.

(2) Restricción en el número de cabezas de ganado.

(3) Sólo se admitirá si todo el término municipal es de riesgo alto, el tiempo de respuesta es mayor de 3 horas y está operativo un sistema de alerta temprana, condicionado a la adopción de Ordenanzas Urbanísticas severas en cuanto a la exigencia de medidas de defensa contra inundaciones.

(4) Condicionado a la adopción de las Ordenanzas Urbanísticas indicadas en (3), y siempre que el tiempo de respuesta sea mayor de 3 horas y esté operativo un sistema de alerta temprana.

(5) Condicionado a la adopción de Ordenanzas Urbanísticas menos exigentes que las indicadas en (3).

(6) Sólo se admitirá si no existe en el municipio suelo alternativo más seguro.

(7) Los equipamientos serán solo para el uso exclusivo del suelo que se desarrolla.

(8) El tiempo de respuesta ha de ser mayor de 1 hora.

(9) Las categorías A, B y C corresponden a una gradación de la importancia de los equipamientos desde vitales (A) hasta parques, zonas deportivas, etc (C)

Tabla 1. Posible esquema de los diferentes usos del suelo admisibles para zonas de nuevo planeamiento que deban desarrollarse en áreas inundables. (MIMAM, 1.998 a)

Como se puede observar, se propone una gradación de mayor severidad en las restricciones de uso conforme se incrementa el riesgo. El criterio adoptado intenta generar una transición urbanística suave entre las zonas seguras y las que no lo son, evitando cambios bruscos que generan conflictos legales y degradación ambiental.

2.3. Actuaciones estructurales

Las medidas estructurales, consisten en la realización de obras de infraestructura que actúan sobre los mecanismos de formación y propagación de las avenidas.

Atendiendo a la función que realizan estas medidas pueden clasificarse en tres categorías:

- Reducción de caudales punta: embalses de laminación, zonas de almacenamiento controladas, cauces de emergencia y derivaciones, conservación de suelos y reforestación.

- Reducción de niveles de inundación para un caudal dado: encauzamientos, reducción de remansos procedentes de aguas abajo, corrección, protección y limpieza de cauces.
- Reducción de la duración de la inundación: obras de drenaje de las vías de comunicación.

En el diseño de las actuaciones estructurales, se deberá asumir que nunca podrán eliminar totalmente el riesgo, por lo que deberá analizarse cuidadosamente su funcionamiento con caudales superiores al de proyecto, situación para la que se contemplan las medidas no estructurales.

Así mismo, las actuaciones estructurales deben contemplar desde el inicio de su diseño, tanto las restricciones ambientales como la posible modificación del esquema de flujo actual, tratando de evitar los posibles efectos negativos a otras zonas.

2.3.1. Actuaciones estructurales que reducen los caudales punta

Con independencia de la restauración hidrológico-forestal, probablemente la medida estructural más habitual en este capítulo es la construcción de presas de laminación de avenidas.

Las presas retienen los caudales de las avenidas, evitando aguas abajo elevados caudales concentrados en el tiempo, convirtiéndolos en caudales menores y de mayor duración, reduciendo de forma eficaz el riesgo de inundación en todo el territorio situado aguas abajo.

El impacto ambiental generado por las presas suele ser más moderado que el creado por la construcción sistemática de encauzamientos al concentrar la alteración en una sección concreta del río en lugar de en una longitud más o menos extensa del mismo. Por otra parte, el impacto ambiental creado por una presa de laminación es menor que el de una presa de regulación, ya que el régimen hidrológico del río no se ve prácticamente alterado para caudales bajos y medios, y únicamente se produce la inundación del vaso en las ocasiones excepcionales en que haya avenidas de cierta importancia.

Resulta interesante transcribir a este respecto los criterios generales establecidos en MIMAM(1998a): *“Las presas constituyen un método estructural muy eficaz de defensa contra avenidas, ya sea por medio de los resguardos en embalses multiuso o incluso como objetivo básico de la obra. No producen efectos secundarios aguas abajo, como los encauzamientos y desde el punto de vista ambiental concentran el impacto sobre el ecosistema fluvial en un tramo reducido”*.

No obstante este tipo de actuaciones tendentes a reducir los caudales, suelen tener que complementarse con otras cuyo objeto sea disminuir los niveles de agua.

El diseño de las presas debe incluir necesariamente una norma de explotación en situación de avenidas en la que se determinen los resguardos que hay que mantener, supeditando el resto de los usos al de la laminación de las avenidas, e indicando la forma en la que se operarán y mantendrán operativos los órganos de desagüe. También deberá incluir un análisis del riesgo potencial frente a la rotura, aguas abajo de la presa.

La restauración hidrológico-forestal, mejora de la cubierta vegetal y conservación del suelo, tienen un efecto favorable en la génesis de caudales de crecida, pero especialmente notable en la producción de sedimentos y aportes sólidos.

El conocido efecto de reducción de volumen de escorrentía y de incremento del tiempo de respuesta de las cuencas vertientes conduce a una disminución de los caudales máximos de crecida tanto más importante cuanto menores sean las lluvias.

Más eficaces y necesarias resultan estas medidas en lo que respecta a la reducción de la importante carga de sedimentos que las crecidas en el río principal y sus afluentes transportan y depositan mayoritariamente en las llanuras aluviales.

Estas aportaciones sólidas complican el funcionamiento hidráulico de la red de drenaje y originan apreciables modificaciones en el curso del propio río, produciendo asimismo el aterramiento de los embalses, y reduciendo consecuentemente, su vida útil.

Este tipo de actuaciones tiene un elevado coste, por lo que deben localizarse en aquellos sectores donde su eficacia sea indudable y con objetivos individualizados, relacionados fundamentalmente con los embalses de laminación ó con zonas urbanas de actuación muy compleja.

2.3.2. Actuaciones que reducen los niveles de inundación

El dragado y la limpieza de los cauces es una medida básica para mantener la capacidad hidráulica de las vías de drenaje de las cuencas tras un evento tormentoso de grandes proporciones.

Los acondicionamientos de cauces y concretamente, los encauzamientos propiamente dichos, son, en ocasiones, la única solución estructural viable en zonas con fuertes pendientes en las que no es posible la construcción de embalses de laminación que, aún con grandes alturas no proporcionarían el volumen de retención suficiente.

En otros casos actúan complementando la actuación de las presas de laminación.

Los criterios generales que deberían adoptarse en cualquier actuación de acondicionamiento de cauces son los siguientes:

- Dado el sensible impacto en el sistema fluvial de este tipo de actuación, se restringirán a aquellos tramos con mayores beneficios, lo que generalmente conduce a tramos cuyo objetivo sea la protección de zonas urbanas ya consolidadas.
- Deben ser lo más respetuosas posibles con el medio ambiente e integradas en el paisaje y uso social del entorno, para lo cual los trazados, la tipología de las secciones transversales y los revestimientos empleados deberán cuidarse de forma especial.
- Es fundamental que el planeamiento urbano futuro asuma el carácter limitado de cualquier actuación estructural que hace imposible asegurar que su caudal de diseño no pueda ser superado. En este sentido, el diseño final no debería transmitir una sensación de falsa seguridad y ser coherente con las previsiones existentes de crecimiento urbano.

- Deben analizarse de forma cuidadosa las posibles modificaciones del esquema de flujo para evitar que ciertas zonas puedan verse perjudicadas respecto a la situación actual, análisis que debe plantearse especialmente para caudales superiores al de diseño.

2.3.3. Actuaciones que reducen la duración de la inundación

Las vías de comunicación modifican artificialmente la respuesta de las zonas inundables constituyendo, en ocasiones, un factor de intensificación de las crecidas. En particular, los grandes terraplenes y las obras de desagüe insuficientes, pueden agravar la inundación aguas arriba, desviarla hacia otras zonas, e incluso producir una onda de avenida por rotura del terraplén, además de aumentar el tiempo en el que la superficie permanece inundada.

La disminución de las interferencias de las crecidas con la red de transporte es por tanto un elemento clave en los planes de defensa frente a las inundaciones y consecuencia de ello se tiene la necesidad de dimensionar adecuadamente las obras de drenaje transversal de las vías de comunicación.

En España la Instrucción 5.2-IC “Drenaje Superficial” (MOPU, 1.990) establece los criterios para el diseño de las obras de drenaje de las vías de comunicación. La Instrucción especifica tres criterios funcionales para el diseño de obras de drenaje basados a la velocidad de la corriente en la obra, el nivel del agua en la misma y la sobreelevación del nivel de agua en la corriente provocada por la presencia de la obra. La Instrucción también recoge el caudal de referencia para el que debe proyectarse un elemento de drenaje superficial en función de su frecuencia de aparición. Por su interés se reproducen en la tabla adjunta los caudales de diseño de la Instrucción española.

Tipo de elemento de drenaje	Intensidad Media Diaria (I.M.D.) (Vehículos/día) en la vía afectada (*)		
	Alta (> 2.000)	Media (2.000 > IMD > 500)	Baja (< 500)
Pasos inferiores con dificultades para desaguar por gravedad	50	25	(**)
Elementos de drenaje superficial de la plataforma y márgenes	25	10	(**)
Obras de drenaje transversal	100	100	(***)

(*) Si la comunicación interrumpida por el corte de la carretera no pudiera restablecerse por vías alternativas se aumentará en un grado la categoría basada en la I.M.D., si no fuera ya “Alta”.

(**) Estos casos cubren una extensa gama, en la que los límites que cabría imponer a las condiciones de desagüe varían ampliamente en función de las circunstancias locales: por lo que se dejan a criterio del proyectista.

(***) Deberá comprobarse que no se alteran sustancialmente las condiciones de desagüe del cauce con el caudal de referencia correspondiente a un periodo de retorno de diez años.

Tabla 2. Periodos de retorno mínimos en el diseño de elementos de drenaje en vías de comunicación. (Adaptado de MOPU, 1.990).

Disponer de información histórica sobre el comportamiento y los efectos de las vías de comunicación durante las crecidas es esencial para la resolución de muchos de los problemas que se plantean.

2.4. Actuaciones no estructurales.

En los últimos años han comenzado a emplearse las medidas denominadas no estructurales. Éstas, a diferencia de las estructurales, no actúan sobre la avenida en sí, alterando sus características hidrológicas o hidráulicas, sino que modifican la susceptibilidad de la zona inundable frente a los daños por inundación. Esas medidas se pueden clasificar en los siguientes grupos (MIMAM, 1.998a):

- Modificación de la susceptibilidad al daño de las estructuras existentes: instalación de cierres y uso de materiales resistentes al agua, relocalización o protección de las propiedades de valor dentro de los edificios, localización de edificios y sus contenidos fuera de un área susceptible de daños por inundaciones.
- Control del futuro desarrollo en la zona inundable: zonificación de la llanura de inundación y restricciones a los usos del suelo, seguro frente a inundaciones.
- Mejora de la respuesta frente a las inundaciones mediante mecanismos de previsión: instalación de sistemas de previsión de avenidas y aviso con un plan de evacuación apropiado.

Las posibles actuaciones no estructurales complementan las medidas estructurales por encima de su umbral de protección, teniendo una gran efectividad y en general un coste económico sensiblemente inferior a éstas. No obstante, plantean dificultades de aplicación y requieren una difícil coordinación entre las distintas administraciones implicadas. Esta coordinación debe realizarse en un marco legal complejo que fije los ámbitos competenciales.

Las distintas actuaciones no estructurales han sido agrupadas en los siguientes capítulos:

- Cartografía de riesgos.
- Ordenación territorial de las zonas inundables.
- Sistemas de alerta temprana.
- Seguros.
- Protección civil.

Es importante notar que el desarrollo de los cuatro últimos capítulos difícilmente puede ser efectivo sin un suficiente desarrollo del primero de ellos. Se considera que la elaboración de una cartografía de riesgo de inundación a una escala detallada es imprescindible para acometer de forma eficaz el resto de actuaciones no estructurales.

2.4.1. Cartografía de riesgo

La cartografía de riesgo debe reflejar a una escala adecuada la peligrosidad de cada zona frente a las inundaciones, caracterizando para ello tanto la frecuencia de las mismas como la magnitud de los calados y velocidades provocadas.

La relación entre cartografía de riesgo y las medidas de protección civil y de ordenación del territorio es indudable, por lo que la participación de la administración local en estos trabajos cartográficos se considera necesaria.

La elaboración de los mapas de riesgo debe incluir un *análisis hidrogeomorfológico previo* para la identificación y caracterización preliminar cualitativa de las áreas de estudio, un estudio *hidrológico* para la determinación de las probabilidades de presentación o periodos de retorno de caudales de diferente magnitud, y un estudio *hidráulico* para el cálculo de los niveles y velocidades asociados a dichos caudales.

En los mapas de riesgo debe representarse como mínimo la crecida de periodo de retorno de 100 años, y sería conveniente la de retorno de 500 años. Una buena escala de representación sería la 1:5.000.

Una vez disponibles los mapas de riesgo, su comparación con una cartografía donde se refleje la zonificación urbanística aprobada puede constituir una buena metodología para el análisis territorial de las inundaciones. La elaboración de curvas que relacionen los daños con la altura de inundación para los diferentes tipos de uso de suelo y su combinación con los mapas de riesgo pueden complementar el análisis al proporcionar una idea aproximada de los daños materiales directos. Esta sería la cuarta fase del proceso, o análisis *económico* de las inundaciones.

Finalmente, deberá realizarse un inventario clasificado de puntos singulares como equipamientos, especificando su vida útil remanente, y una evaluación sistemática del comportamiento de las obras de desagüe, badenes y tramos inundables, con objeto de la incorporación al mapa de riesgo de los puntos negros que presentan algún problema específico.

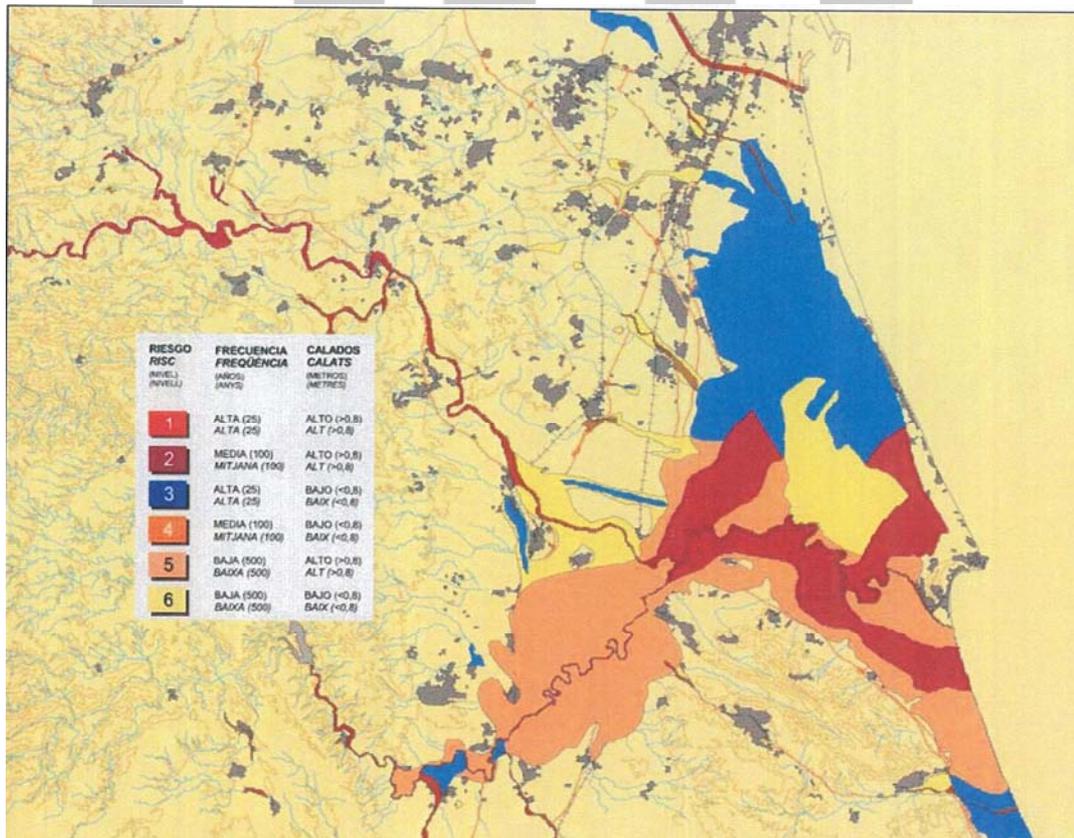


Figura 4. Zonificación de PATRICOVA en la llanura de inundación del Júcar

2.4.2. Ordenación de las zonas inundables

La ordenación territorial de zonas inundables tiene por objeto controlar el futuro desarrollo en las mismas mediante la zonificación de la llanura de inundación y la limitación de los usos del suelo. Es preciso incluir sistemáticamente la inundabilidad en los instrumentos de planeamiento urbanístico.

El texto refundido de la Ley de Aguas española (RDL 1/2001) y su Reglamento definen el caudal de Máxima Crecida Ordinaria (M.C.O.) como: “*la media de los máximos caudales en su régimen natural, producidos durante 10 años consecutivos, que sean representativos del comportamiento hidráulico de la corriente*”.

La definición encierra dos dificultades al establecer la necesidad de que el caudal M.C.O. se defina en “*régimen natural*” y que la media de los caudales máximos de diez años consecutivos sea “*representativa*”.

Para atenuar estas dificultades, en el informe “Aspectos prácticos de la definición de la Máxima Crecida Ordinaria (M.C.O.)” (MIMAM, 1.996), se realizó un estudio experimental en 20 puntos distribuidos a lo largo de la geografía española. De este trabajo se obtuvieron tres conclusiones, constituyen una buena base sobre la que desarrollar el concepto de Máxima Crecida Ordinaria (M.C.O.) y el de Dominio Público Hidráulico.

En primer lugar, en los tramos donde existan llanuras de inundación activas y sin alteraciones antrópicas sustanciales, el caudal de desbordamiento es muy representativo del comportamiento de la corriente y su línea de agua marca los límites de cauce.

Se pudieron establecer relaciones entre la M.C.O. y diversos parámetros característicos de la ley de frecuencia de caudales máximos.

De forma aproximada, en España, se pudo determinar el valor del caudal M.C.O. (Q_{MCO}), en función de la media (Q_m) y el coeficiente de variación (C_v) de la distribución de máximos caudales anuales mediante la expresión:

$$\frac{Q_{MCO}}{Q_m} = 0,7 + 0,6 \cdot C_v \quad (1)$$

También, conociendo la ley de frecuencia de caudales máximos y su coeficiente de variación (C_v) se pudo asimilar el periodo de retorno del caudal M.C.O. ($T(Q_{MCO})$) como:

$$T(Q_{MCO}) = 5 \cdot C_v \quad (2)$$

El general el caudal de Máxima Crecida Ordinaria, es un buen criterio para establecer un trazado preliminar del Dominio Público, pero el deslinde definitivo debe resolverse directamente en el campo con criterios fluviomorfológicos, medioambientales y sociales.

El artículo 6 de la Ley de Aguas Española (RDL 1/2001) establece además el concepto de márgenes como los terrenos que lindan con los cauces y define, dentro de los

mismos, las zonas de servidumbre para uso público, y de Policía para la protección del Dominio Público Hidráulico (D.P.H.) y del régimen de corrientes.

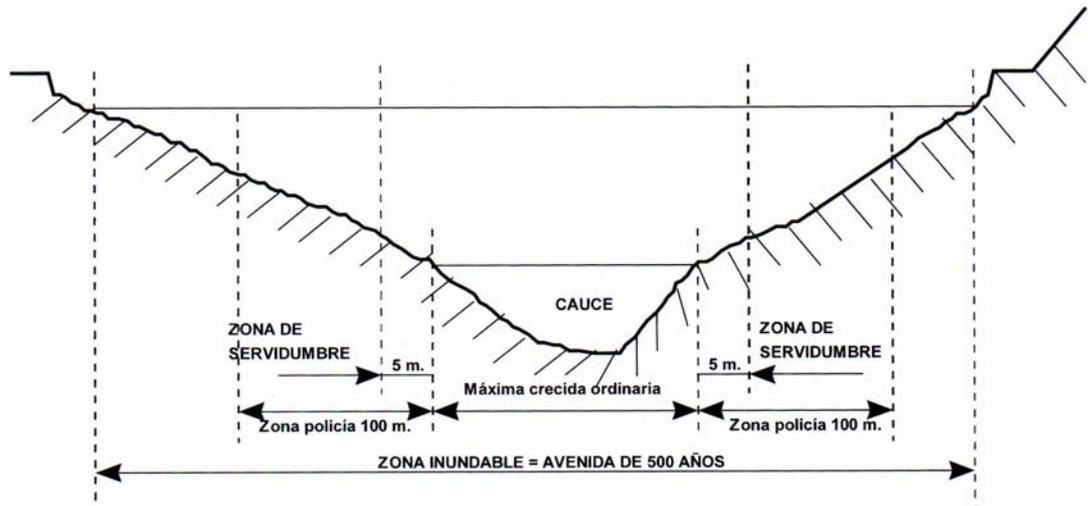


Figura 5. Zonas asociadas al cauce en la legislación Española. (RDL 1/2001)

La Ley define también el concepto de zona inundable como los terrenos ocupados por la avenida de periodo de retorno 500 años.

En España la Ley de Aguas establece que la administración hidráulica debe velar no sólo por la conservación del D.P.H., sino también por la garantía del cumplimiento de las funciones específicas asignadas a las zonas asociadas. El objeto no es sólo proteger dicho dominio, sino también evitar o disminuir riesgos potenciales por inundaciones, tanto en terrenos propiedad del Estado, como áreas contiguas de propiedad privada.

Unos criterios razonables para definir las zonas en las que se puede clasificar el territorio son los siguientes (MIMAM, 1.998a):

- En la llanura de inundación se pueden diferenciar la “zona inundable” (dentro de la cual se incluye una zona con la condición de inundación peligrosa) y la “vía de flujo” o de intenso desagüe.
- Los límites de la “zona inundable” pueden corresponder a la avenida de periodo de retorno de 500 años. Dentro de estos límites se puede distinguir la “zona de inundación peligrosa”, donde pueden producirse daños importantes (materiales y humanos) con la avenida de retorno 500 años. Para definir esos daños se deben utilizar criterios basados en el calado y velocidad (mapas de riesgos).
- La “vía de intenso desagüe” (Estrela y Témez, 1.993) (asociada al concepto de zona de Policía) se define de forma que pase por ella la avenida de 100 años sin producir una sobreelevación 0,3 m mayor que la que se produciría con esa misma avenida considerando toda la llanura de inundación existente. Esa sobreelevación podría reducirse hasta 0,1 m cuando el incremento de la inundación produjese graves perjuicios y además fuesen factibles, técnica y económicamente, otros emplazamientos para nuevas construcciones fuera de esa zona, o elevarse hasta 0,5 m en caso contrario.

- En el caso de existir diques de protección en la llanura, éstos deberían considerarse límites de la vía de intenso desagüe.
- Cuando el análisis de circulación del flujo muestre más de un cauce preferencial se debe establecer una vía de intenso desagüe múltiple compuesta por varias franjas, una de las cuales correspondería al cauce principal y las restantes a los distintos pasos o vías preferentes de las aguas desbordadas.

La delimitación de las superficies incluidas en la “vía de intenso desagüe”, en la zona comprendida entre la “vía de intenso desagüe” y la “zona de inundación peligrosa” y entre esta última y la línea de inundación correspondiente a la avenida de 500 años, permiten clasificar los usos y actividades que se podrán realizar en cada una de las zonas (tabla 1).

Dentro de los límites de una *vía de intenso desagüe*, se recomienda limitar los usos a los siguientes:

- Uso agrícola, como tierras de labranza, pastos horticultura, viticultura, césped, viveros al aire libre, etc.
- Uso industrial – comercial, como áreas de almacenaje temporal, zonas de aparcamiento, etc.
- Usos residenciales, como césped, jardines, zonas de juego, etc.
- Usos recreativos públicos y privados, como campos de golf, pistas deportivas al aire libre, zonas de descanso, circuitos de excursionismo o de equitación, etc.

En cualquier caso ningún uso deberá afectar desfavorablemente la capacidad de desagüe de la vía de intenso desagüe ni dará lugar a importantes daños propios.

Las limitaciones al uso del suelo recomendadas para *áreas inundables* fuera de las VID son las siguientes:

- Las futuras edificaciones de carácter residencial deben tener la planta baja, o el sótano si lo hubiera, a una cota tal que no sean afectadas por la avenida de 100 años, ni se produzca la condición de inundación peligrosa con la de 500 años.
- Las construcciones no residenciales (industriales, comerciales, etc.) deben situarse a cotas suficientes para evitar que durante la avenida centenaria se produzcan alturas de inundación sobre el suelo superiores a 0,50 m, salvo que se hubieran adoptado en todo el contorno medidas impermeabilizadoras hasta el nivel de dicha avenida. Otra medida aconsejable es la de situar por encima del nivel de la avenida centenaria las bancadas de la maquinaria sensible a la inundación.

- No deben verse afectados por la avenida de 500 años ni las instalaciones vitales en caso de catástrofe como los hospitales, parque de bomberos, comisarías de policía, etc., ni aquellas otras potencialmente contaminantes como algunas industrias químicas, ciertos vertederos, cementerios etc.

Tal como hasta aquí se ha comentado, el control del desarrollo urbano de las zonas inundables se refiere únicamente a las nuevas construcciones pero a veces también son viables algunas medidas tendentes a aminorar la susceptibilidad al daño en los bienes ya existentes en la zona inundable, incentivando desde la Administración con ayudas económicas:

- La instalación de cierres temporales o permanentes en aperturas de las edificaciones, o la construcción de pequeños diques en torno a ellas.
- La reubicación de propiedades de valor dentro del mismo inmueble.
- La reubicación de ciertas viviendas e instalaciones en áreas no inundables.

2.4.3. *Sistemas de alerta temprana*

Los sistemas de información hidrológica en tiempo real pueden desempeñar un importante papel como elementos de previsión e información hidrológica en situaciones de emergencia por inundaciones.

En estos casos deben suministrar información sobre precipitaciones y niveles registrados en puntos de control seleccionados. Esta información debe permitir estimar la evolución previsible de niveles y caudales en función de los pronósticos meteorológicos y determinar, en su caso, las posibles zonas de inundación.

La información es captada por sensores y teletransmitida a los Centros de Proceso. Las previsiones de evolución del episodio requieren la utilización de modelos matemáticos que permitan realizar predicciones de caudales y niveles con el mayor grado de anticipación posible, de tal forma que los servicios de protección civil puedan actuar con tiempo suficiente. Este sistema de modelación debe ser lo más preciso posible en sus predicciones para evitar tanto situaciones de alarma no justificadas como la ocurrencia de inundaciones de magnitud superior a la pronosticada. La determinación de las posibles zonas de inundación precisa la utilización de modelos hidráulicos que, a partir de los caudales, la topografía y las características de las llanuras de inundación, estimen la extensión y calados de la zona inundada.

En algunos casos se están utilizando modelos que analizan los datos pluviométricos registrados durante una tormenta y realizan predicciones de hidrogramas de crecida. Como ya se ha apuntado, se considera que esta es una tecnología básica para la moderna gestión de las situaciones de crecida.

En este sentido hay que destacar la labor que están desarrollando las Confederaciones Hidrográficas, que han instalado las redes SAIH en sus ámbitos de actuación, compuestas por estaciones meteorológicas e hidrométricas conectadas a un Centro de pronósticos.

Con motivo de las inundaciones de 1982 en el Mediterráneo español se produjo, un avance importante en la formulación y aplicación de distintas medidas de defensa frente a las inundaciones. Una de las medidas adoptadas fue la creación de los Sistemas de previsión y aviso frente a inundaciones, los denominados SAIH (Sistema Automático de Información Hidrológica).

Los SAIH son una herramienta que proporciona un conocimiento de la situación hidrometeorológica e hidrológica de las cuencas en tiempo real y permite hacer predicciones de ciertas variables a corto plazo (Pedrero, 1996).

La red de sensores SAIH proporciona, entre otros, datos en tiempo real sobre precipitaciones, niveles y caudales en los ríos, reservas y salidas de los embalses, etc. En la actualidad, están funcionando las redes correspondientes a la mayor parte de las cuencas hidrográficas. La red más antigua corresponde al Júcar, cuyos primeros datos se remontan al año 1988.

La información que suministra el SAIH en situaciones de crecida es (Dueñas, 1995): 1) precipitaciones registradas en los puntos de control, 2) secuencia de niveles en puntos de control y en embalses, 3) previsión de la secuencia anterior en función de las previsiones meteorológicas y 4) previsión de zonas inundables.

La información correspondiente a 1) y 2) es captada por sensores y teletransmitida al Centro de Proceso de Cuenca del SAIH. La información reflejada en 3) precisa la utilización de modelos matemáticos que permitan realizar predicciones de caudales y niveles en cauces y embalses con el mayor grado de anticipación posible, de tal forma que los responsables de la gestión de los planes de protección civil pueden actuar con tiempo suficiente. Este sistema de modelación debe ser lo más preciso posible en sus predicciones, tanto para evitar situaciones de alarma no justificadas, como ocurrencia de inundaciones de magnitud superior a la pronosticada. La información requerida en 4) precisa la utilización de modelos hidráulicos, que a partir de los caudales, la topografía y las características de las llanuras de inundación estimen la extensión y calados de la zona inundada. En la actualidad en algunos de los SAIH en funcionamiento se están utilizando modelos, como el PLU y el CREM (Aldana y otros, 1996), que analizan los datos pluviométricos registrados durante una tormenta y realizan predicciones de hidrogramas de crecida en embalses.

2.4.4. Seguros.

Los seguros consituyen un instrumento idóneo de protección cuando el coste de la defensa supera el valor del área protegida, y deberían ser la base de la protección en zonas no urbanas, en particular frente a los daños en agricultura y ganadería.

El seguro de inundaciones podría incluirse dentro del seguro agrario y debería cubrir varios tipos de daños: cosecha pendiente, daño al arbolado, pérdida de terreno de cultivo por erosión de márgenes etc.

El desarrollo de un programa de seguros para zonas urbanas es mucho más complejo y de resultados más dudosos y cuestionables. Incluso en los países en los que el seguro alcanza su desarrollo máximo, el número de viviendas aseguradas es apenas del 30%. Esto hace que sea socialmente imposible denegar la ayuda de emergencia a quienes no han asegurado sus bienes y, de resultas de ello, quienes sí los aseguraron se sienten comparativamente agraviados.

En España, históricamente, el papel de asegurador de riesgos producidos por las inundaciones ha sido asumido por el Consorcio de Compensación de Seguros. Creado a consecuencia de los daños producidos en la Guerra Civil, el Consorcio indemniza los siniestros producidos por acontecimientos extraordinarios, entre los que se encuentran las inundaciones, siempre que se produzcan alguna de las siguientes situaciones: que el riesgo extraordinario no esté específica o explícitamente amparado por otra póliza de seguro o que, estando amparado por póliza de seguro, las obligaciones de la compañía no puedan ser cumplidas (quiebra, suspensión de pagos, etc.).

2.4.5. La planificación de protección civil ante el riesgo de inundaciones.

El papel de los servicios de protección civil ante una situación de inundación, requiere la actuación, coordinada y eficaz de las diferentes administraciones implicadas.

Para ello será necesario redactar planes especiales que especifiquen la estructura, la organización y los criterios operativos de respuesta. Los planes podrán tener carácter estatal, departamental y local, dependiendo del carácter de la situación de emergencia será de aplicación uno u otro plan.

El contenido que debe tener un Plan de Emergencia sería al menos el siguiente (MIMAM, 1.998b):

- Fundamentos. En esta sección se incluye el marco legal y competencial.
- Análisis del riesgo. Este apartado se basa en la cartografía de riesgo (apartado 7.4.1.), clasificando el territorio en zonas de riesgo, en función de la peligrosidad y de los usos del suelo existentes.
- Estructura organizativa. Se definen diferentes situaciones de emergencia, con distintos niveles organizativos en cada una de ellas detallando la composición y las funciones de las diferentes administraciones y organizaciones de acción: intervención, seguridad, sanidad, albergue y apoyo logístico.
- Operatividad. Se detalla minuciosamente la forma de operar de la estructura organizativa anterior en cada una de las situaciones de emergencia.
- Implantación y mantenimiento de la operatividad. Se detalla el proceso de formación del personal implicado, de información y divulgación a la población y Ayuntamientos, así como aquellos aspectos relacionados con su actuación y revisión.

En relación con las distintas situaciones de emergencia, en España, se distinguen tres fases en la movilización de los servicios de protección civil que son: de *pre-emergencia*, *emergencia* y *normalización*.

La situación de *pre-emergencia* se iniciaría, en general, a partir de predicciones meteorológicas de precipitaciones intensas, prolongándose hasta que se concluyera que la situación de inundación es inminente.

Comenzaría, a partir de ese momento, la fase de *emergencia*, en la que se pueden distinguir cuatro situaciones distintas: *Situación 0*, que supone el final de la fase de pre-emergencia, *Situación 1*, que corresponde a inundaciones localizadas en zonas reducidas y que pueden afrontarse con los medios disponibles localmente, dando lugar a la puesta en práctica de planes de emergencia municipales. La *Situación 2*, en la que los medios locales no son suficientes por sí solos o bien la inundación afecta a varios municipios, lo que daría lugar a la puesta en práctica de los planes de emergencia autonómicos. Finalmente, en emergencias que afectan al interés nacional se pasaría a la *Situación 3*, que originaría la puesta en práctica del Plan Estatal.

La fase de *normalización* comenzaría al haberse puesto en práctica todas aquellas medidas destinadas a la protección de personas y bienes y se hubieran restablecido los servicios básicos en la zona afectada. En esta fase se realizarían las primeras tareas de rehabilitación, como limpieza de viviendas y zonas urbanas, reparación de los daños más relevantes, etc.

8. Referencias

- ALDANA, A.L., F. ESTRADA Y F. CABEZAS (1996). Modelación hidrológica y de la gestión hidráulica en el sistema automático de información hidrológica: modelos PLU y CREM. REVISTA DE INGENIERÍA CIVIL, N° 104. PÁG. 81 A 88. MADRID, 1996.
- ESTRELA Y TÉMEZ, 1.993 “Planning criteria for flood áreas in Spain”. Proc. XXV IAHR Congress. Tokyo. Japón. Agosto – Septiembre. 1.993.
- ETC-IW, 1.998 “Sustainable water use in Europe”. ETC-IW Task 98/5. 1.998.
- MIMAM, 1.996 “Guías metodológicas para la estimación del caudal de máxima crecida ordinaria”. Ministerio de Medio Ambiente, 1.996.
- MIMAM, 1.998a “Libro Blanco del Agua en España”. Ministerio de Medio Ambiente. 1.998.
- MIMAM, 1.998b “Plan Global frente a inundaciones en la ribera del Júcar: líneas de actuación”. Ministerio de Medio Ambiente. 1.999.
- MOPU, 1.990 “Instrucción 5.2-IC: Drenaje Superficial”. Ministerio de Obras Públicas, 1.990.