

GUÍA METODOLÓGICA SOBRE BUENAS PRÁCTICAS EN GESTIÓN DE INUNDACIONES



manual para gestores

Alfredo Ollero Ojeda

La temática de los riesgos naturales encierra un compromiso ético que se debe poner en práctica si pretendemos una vida segura y sostenible sobre la superficie terrestre. En caso contrario, seremos cómplices de la creación de territorios de riesgo y de la destrucción de la dinámica natural de los cursos de agua, que lamentablemente es moneda común, todavía, en muchos territorios españoles. Y si acontece una inundación, seremos cómplices de la posible pérdida de vidas humanas.

Jorge Olcina Cantos (2007) *Riesgo de inundaciones y ordenación del territorio en España* (pág. 371)

GUÍA METODOLÓGICA SOBRE BUENAS PRÁCTICAS EN GESTIÓN DE INUNDACIONES.

Manual para gestores.

Diciembre de 2014

ISBN 978-84-606-8807-5

La presente guía constituye una aportación al Proyecto Sud'eau2 del Programa de Cooperación Territorial del Espacio Sudoeste Europeo (SUDOE). Ha sido elaborada en el marco de un contrato de investigación y desarrollo entre la Universidad de Zaragoza (OTRI) y la Fundación Ecología y Desarrollo, como Secretaría Técnica del Contrato del río Matarraña.

Alfredo Ollero Ojeda es Profesor Titular de Geografía Física del Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio de la Universidad de Zaragoza, investigador del Instituto de Ciencias Ambientales de Aragón (IUCA) y Presidente del Centro Ibérico de Restauración Fluvial (CIREF).

Contacto: aollero@unizar.es



Universidad
Zaragoza



Instituto Universitario de Investigación
en Ciencias Ambientales
de Aragón
Universidad Zaragoza



CIREF
centro ibérico de
restauración fluvial

Nuestro agradecimiento a todos los autores de fotografías.

Aquellas en las que no se indica autoría han sido realizadas por el autor de la guía.

Índice

Presentación	6
--------------	---

1 El río y las crecidas	7
--------------------------------	----------

1.1. <i>¿Cómo funciona el río?</i>	7
1.2. <i>La crecida trabaja: erosión, transporte y sedimentación</i>	10
1.3. <i>Beneficios de las crecidas de los ríos</i>	17

2 El riesgo de inundación	20
----------------------------------	-----------

2.1. <i>Las inundaciones, un sistema de autorregulación</i>	20
2.2. <i>Peligros y riesgo</i>	21
2.3. <i>Riesgo de inundación, espacios inundables y la Directiva 2007/60/CE</i>	24
2.4. <i>¿Cómo estudiar y cartografiar crecidas y áreas inundables?</i>	27
2.4.1. Identificar crecidas / 2.4.2. Observaciones geomorfológicas de campo / 2.4.3. Estimación de caudales de crecida / 2.4.4. Comparar crecidas / 2.4.5. Cálculo de periodos de retorno / 2.4.6. Fotografías aéreas y ortofotos / 2.4.7. Modelos del terreno e hidráulicos / 2.4.8. Cartografía de peligrosidad y de riesgos	

3 Principios para la gestión del riesgo de inundación	43
--	-----------

3.1. <i>Principios fundamentales</i>	43
3.2. <i>Previsión y prevención. La red S.A.I.H.</i>	45
3.3. <i>Planes de gestión del riesgo de inundación</i>	46
3.4. <i>Grado de riesgo, periodos de retorno y sentido común</i>	48

4	Experiencias de aprendizaje	51
4.1.	<i>Aprendiendo de casos concretos</i>	52
	4.1.1. Aguilón 1921 / 4.1.2 Ribera del Ebro 1961 / 4.1.3. Fraga 1982 / 4.1.4. Biescas 1996 / 4.1.5. Jánovas / 4.1.6. Valderrobres 2000 / 4.1.7. Zaragoza 2003, 2008 / 4.1.8. Castiello de Jaca 2012 / 4.1.9. Benasque 2013 / 4.1.10. Oliete 2013	
4.2.	<i>Impacto y deficiencias de los sistemas de regulación y defensa</i>	70
	4.2.1. Embalses y presas de retención / 4.2.2. Defensas y canalizaciones / 4.2.3. Dragados y limpiezas	
4.3.	<i>Problemas de percepción, actuaciones de emergencia y falsa seguridad</i>	79
5	Buenas prácticas para la gestión de inundaciones	81
5.1.	<i>Bases para una nueva gestión</i>	81
	5.1.1. Una nueva visión / 5.1.2. No luchar contra las inundaciones / 5.1.3. Respetar las llanuras de inundación / 5.1.4. Conocer bien el río y conservarlo tal como es / 5.1.5. Las infraestructuras verdes / 5.1.6. La ordenación del territorio / 5.1.7. La restauración fluvial / 5.1.8. Educación en el nuevo paradigma	
5.1.	<i>Propuesta de buenas prácticas sobre conocimiento, evaluación y cartografía</i>	90
	1. Panel científico-técnico-institucional permanente	90
	2. Conocimiento y seguimiento hidrogeomorfológico del río	91
	3. Delimitación del espacio inundable y cartografía de peligrosidad y riesgo	91
	4. Ampliar cartografía y gestión a toda la red fluvial	92
	5. Integrar sinergias con inundaciones urbanas y litorales	92
	6. Evaluación permanente del riesgo	93
5.3.	<i>Propuesta de buenas prácticas sobre el territorio fluvial</i>	94
	7. Definición de un territorio para el río	95
	8 Identificación y búsqueda participativa de soluciones para áreas en conflicto	99
	9. Devolución efectiva de espacio al río	99
	10. Conservación o restauración del funcionamiento natural del río	101
	11. Humedales y áreas de expansión lateral	101
	12. Rebaja de terrenos inundables sobreelevados	102
5.4.	<i>Propuesta de buenas prácticas sobre ordenación en espacios inundables</i>	103
	13. Declaración oficial de territorio de riesgo	103
	14. Nuevos planes de ordenación territorial controlada en áreas inundables	103
	15. Adaptación de usos del suelo a la inundabilidad	104
	16. Revisión de los planes de ordenación urbana y otras normativas asociadas	104
	17. Desurbanizar áreas inundables	105
	18. Establecimiento de normas de construcción que reduzcan el riesgo	106

19. Espacios urbanos abiertos junto al río	106
20. Evaluación de inundabilidad e impacto ambiental para cualquier actuación	107
21. Evaluación y control ambiental en actuaciones post-crecida	107
22. Sistema de seguros	108
5.5. Propuesta de buenas prácticas sobre puntos de especial riesgo	109
23. Cartografía de detalle en confluencias y otros puntos singulares	109
24. Normativa restrictiva en confluencias y otros puntos de especial riesgo	109
25. Identificación y seguimiento de acumulaciones naturales	110
26. Reubicación y restauración geomorfológica de acumulaciones naturales peligrosas	110
27. Identificación y seguimiento de obstáculos antrópicos	111
28. Eliminación, redimensionamiento o traslado de obstáculos antrópicos	112
29. Revisión de la utilidad y estado de todas las estructuras de defensa	113
30. Sustitución de defensas de margen por bioingeniería y sistemas portátiles de protección	113
31. Cubrimiento o camuflaje de las defensas imprescindibles	114
32. Evitar o limitar acciones de alto impacto	115
5.6. Propuesta de buenas prácticas en alerta, actuación, información y educación	116
33. Refuerzo de la red S.A.I.H. como sistema clave de alerta temprana	116
34. Planes de emergencia y cartografía de riesgo por rotura para todas las presas y embalses	116
35. Plan de emergencia local	117
36. Participación pública en protocolo de actuación, en mitigación y en plan de recuperación	118
37. Guardería fluvial preventiva	118
38. Programas de educación ambiental en el riesgo	119
39. Trabajar el riesgo de inundación en la educación reglada	119
40. Programas de formación técnica	120
41. Protocolo obligatorio de información del riesgo	120
42. Participación de los medios de comunicación	120
43. Redes de intercambio de las buenas prácticas	121
44. Planes comarcales y locales de gestión del riesgo	121
5.7. Aplicación en el río Matarraña	122

6

Conclusiones

128

Glosario

129

Bibliografía

137



Presentación

Crecidas e inundaciones son procesos naturales necesarios en el planeta, que rigen y renuevan el funcionamiento de todos los cursos fluviales. La deficiente cultura ambiental de nuestro tiempo nos ha llevado a demonizar estos procesos, que eran respetados por nuestros antepasados, conscientes de los muchos beneficios que aportaban, pero que actualmente consideramos molestos para nuestras actividades. Ahora los vemos como un peligro y exigimos seguridad frente a ellos, cueste lo que cueste. Por ello, a lo largo de las últimas décadas se han implantado, desarrollado y desarrollado unos sistemas de defensa de lucha frontal contra el río que, en general, y además de dañar muy gravemente los ecosistemas fluviales, han resultado caros, poco efectivos y muchas veces contraproducentes. Se impone un cambio en la visión, en la gestión y en las soluciones, un cambio demandado desde hace más de dos décadas desde ámbitos científicos y respaldado por directivas europeas, pero un cambio que está costando mucho implantar por las enormes inercias e intereses que siguen anclados en los viejos y obsoletos planteamientos.

El gestor del territorio, trabaje a nivel local, regional, estatal o internacional, debe conocer bien cómo funcionan los ríos, las crecidas y las inundaciones y qué respuestas podemos esperar de ellos ante cualquier actuación o actividad que nos planteemos en el espacio fluvial. Debe también ser capaz de gestionar adecuadamente las posibles situaciones de emergencia y, lo que es más importante, debe aprender de cada nueva crecida de cara al futuro, sin caer en las fáciles pero negativas medidas post-crecida al uso, consistentes en recomponer todo como estaba. Al contrario, debe pensar muy bien en soluciones de ordenación a medio y largo plazo.

El gestor del territorio, por tanto, tiene que ponerse unas gafas nuevas para observar y comprender mejor las crecidas e inundaciones, necesita una nueva visión más clara, que ponga el foco en los beneficios y en las oportunidades y que cargue la memoria de la experiencia para no cometer errores en el futuro y así ir reduciendo el riesgo natural.

La presente guía metodológica, centrada en la gestión de inundaciones de origen fluvial, no pretende explicar técnicas complejas, sino que constituye una sencilla aportación cuyo objetivo es ayudar a cambiar esa visión del río y de sus procesos extremos y, en consecuencia, ayudar también a mitigar el riesgo de inundación con buenas prácticas que, al no perjudicar al río, harán sostenibles en el tiempo los beneficios que el propio río con sus crecidas nos tiene que seguir aportando.

Esta guía metodológica forma parte de un proyecto del Programa de Cooperación Territorial del Espacio Sudoeste Europeo (SUDOE), entre cuyos ejes prioritarios se encuentra la mejora de la sostenibilidad para la protección y conservación del medio ambiente y el entorno natural, así como el refuerzo de la capacidad institucional.

1 El río y las crecidas

1.1. ¿Cómo funciona el río?

Un río es un sistema natural que trabaja de forma eficiente en transportar agua, sedimentos, nutrientes y seres vivos desde el continente hasta el mar.

Los ríos son las arterias naturales del territorio, encargándose de equilibrar el ciclo hidrológico planetario, ya que conducen el agua sobrante de las precipitaciones caídas sobre los continentes hasta el gran almacén oceánico.

Los ríos contribuyen también a regular el relieve del planeta, encargándose de ir conduciendo todos los materiales sueltos generados por la erosión desde cada rincón de los continentes hasta los mares o lagos en que desembocan.

Los ríos se regulan a sí mismos, abren sus llanuras para contener sus crecidas y disponen almacenes temporales de sedimentos, escalonando poco o poco su trabajo.

Así mismo, los ríos recargan los acuíferos situados en las planas aluviales y pueden recoger los drenajes de masas de agua subterráneas laterales.



Río Ésera



Río Aurín. Foto: Vanesa Acín



Cárcavas en
Yebra de Basa

Tampoco hay que olvidar que son los ríos los que aportan arena a las playas del litoral y las regeneran de forma continua.

Una cárcava, un torrente, un barranco o un gran río funcionan igual y tienen la misma función en el planeta. Solo se diferencian en el tamaño, en la escala.

Un río es también un ecosistema de gran diversidad y valor medioambiental. Transporta nutrientes, que aportan gran fertilidad, desde las cabeceras hasta el mar. Esta riqueza de alimentos, unida al papel trascendental de las crecidas distribuyendo esos nutrientes y renovando todos los hábitats y ambientes, son claves para crear unos ecosistemas muy ricos y diversos y continuamente rejuvenecidos. Esto confiere a los ríos una enorme diversidad de hábitats acuáticos y terrestres en los que viven innumerables especies animales y vegetales que se desplazan por el propio río.



Así, el enorme valor medioambiental reside en esta gran biodiversidad y en la función del río como corredor ecológico, conectando infinidad de ecosistemas diferentes desde las montañas hasta los litorales.

Por si fuera poco, el río nos proporciona importantes servicios a los seres humanos como especie: suaviza localmente las condiciones meteorológicas y climáticas, nos protege y nos aporta agua y alimentos desde que existimos sobre el planeta. Así, en áreas semiáridas, como el ámbito mediterráneo, el río y sus humedales asociados son el mejor refugio, y a veces el único, para multitud de especies que encuentran en sus aguas o sus riberas los recursos que necesitan para sobrevivir. La especie humana así lo entendió también desde el Neolítico y por eso utilizó la bondad de estos ecosistemas para el desarrollo de grandes civilizaciones. Hoy y en el futuro, los ríos juegan y jugarán una importante función reduciendo los efectos del cambio climático.

Un río es un elemento natural muy complejo con cuatro dimensiones: una componente longitudinal, otra transversal, otra vertical y otra temporal.

Longitudinalmente el río nace en una cabecera montañosa y va cambiando conforme recibe afluentes y conforme atraviesa diferentes terrenos geológicos, hasta convertirse en un gran colector que llega al mar.

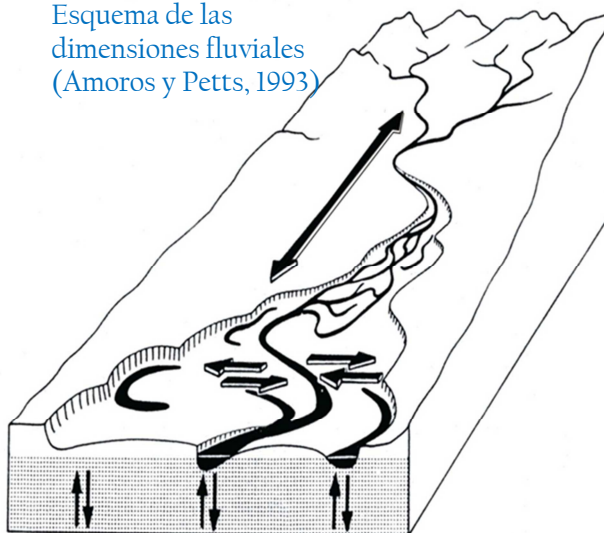
Transversalmente el río es todo su espacio inundable, a veces de varios kilómetros de anchura, y puede contar con un conjunto muy diverso de ecosistemas interrelacionados dispuestos en mosaico y en bandas: cauces principales y secundarios, brazos muertos, cauces abandonados, zonas pantanosas, bosques de ribera, ecosistemas terrestres de las islas fluviales y del llano de inundación, etc.

Verticalmente el río tiene elementos superficiales y subterráneos interconectados, con agua, sedimentos y organismos vivos bajo el cauce que vemos.

Temporalmente el río asiste a cambios continuos de su caudal circulante, de su carga sedimentaria, de sus procesos de erosión, de su forma en planta y dimensiones, etc.

Siempre que no se corten sus conexiones longitudinales, laterales (con las riberas) y verticales (con el freático subyacente), el río cuenta con una destacable capacidad de autodepuración y de auto-regeneración.

Esquema de las dimensiones fluviales (Amoros y Petts, 1993)



¿Hasta dónde llega el río? ¿Cuáles son, por tanto, sus límites? El río no es sólo la corriente de agua, el cauce que suele contener agua la mayor parte de los días. El río es también lo que está debajo y no se ve, el freático o aguas subterráneas, tan importantes como el agua que se deja ver. Y son también río las orillas y todo el espacio lateral que puede inundarse con más o menos frecuencia. A todo eso que es río le llamamos espacio del río, territorio fluvial o espacio fluvial. Puede que vivamos en él, pero no es realmente nuestro, **es un espacio del río y lo ocupa cuando le resulta necesario**. Por eso tenemos que gestionar ese espacio de forma adecuada, teniendo en cuenta que solo somos “inquilinos” y que no podemos romper el funcionamiento natural del río y su eficiente sistema de auto-regulación. Situar elementos de ocupación permanentes en este espacio del río supone que inevitablemente, en un momento u otro, se verán alcanzados por las riadas.

Los límites laterales del río son las laderas de su valle, un terreno al que ya no pueden llegar las aguas en las máximas crecidas posibles.

En suma, el río es también un **paisaje** con personalidad propia, singular, lineal y continuo, con mucha complejidad interna, diversidad y dinamismo y con un elevado valor escénico. El Diccionario de la Real Academia Española de la Lengua define “río” como “corriente continua de agua”, pero habría que matizar que un río nunca es continuo, sino que está en constante cambio, en el espacio y en el tiempo, que un río no es solo la corriente, sino muchos más elementos y mucha más superficie, y que un río no lleva solo agua, sino también sedimentos, nutrientes y seres vivos. De hecho, hay ocasiones en que un río no lleva agua, y por eso no deja de ser un río, como ocurre con barrancos y ramblas, que llevan agua superficialmente en muy pocas ocasiones.



Rambla de Rané (Lumpiaque, Zaragoza)

1.2. La crecida trabaja: erosión, transporte y sedimentación

Una avenida o crecida de un río, también llamada popularmente riada, es un proceso natural sin periodicidad constituido por un incremento importante y generalmente repentino de caudal en un curso fluvial. Lleva consigo un ascenso del nivel de la corriente, que puede desbordar el cauce menor para inundar progresivamente el cauce mayor, hasta alcanzar un máximo o punta de caudal y descender a continuación. La gran cantidad de agua superficial puede combinar sus efectos con la elevación del nivel freático y con la alta humedad del suelo.

En estos sucesos hidrogeomorfológicos de crecida, el incremento de caudal supone un notable incremento de la energía conducida por el río. Esta sobreexcitación del funcionamiento hidrológico genera consecuencias ambientales muy diferentes a las de los procesos de escorrentía normal, ya que se superan umbrales de resistencia en el sistema fluvial, acelerándose los procesos de erosión, transporte y sedimentación y los procesos ecológicos en la evolución ambiental de la cuenca. Unas horas de crecida pueden modificar más el río que decenas de años de escorrentía normal.

Las crecidas de los ríos son procesos imprescindibles en los ciclos hidrológico y geomorfológico y en el sistema natural. En las crecidas el río trabaja al máximo, alcanzando su máxima eficiencia en su tarea principal en el planeta: transportar agua, sedimentos, nutrientes y seres vivos. Dado que el caudal es el motor de todos estos procesos, un caudal extremadamente alto intensifica muy notablemente toda la dinámica fluvial.

En las crecidas los ríos fundamentalmente transportan, pero también erosionan y sedimentan, es decir, realizan los tres trabajos básicos de la geomorfología fluvial. Veamos a continuación cómo se genera, manifiesta, desarrolla y trabaja una crecida fluvial.

Génesis. La mayoría de los procesos de crecida fluvial se originan por causas hidrometeorológicas, es decir, por precipitaciones intensas (de tipo tormentoso convectivo y de carácter local) o prolongadas (frontales, extendiéndose por varias cuencas), que en ocasiones, según la zona y la época del año, pueden verse acompañadas por la fusión nival. Pero hay también otro posible origen de crecidas, mucho menos frecuente pero en general de mayor violencia: la liberación brusca de aguas represadas a raíz de la rotura de una presa artificial o natural que taponara el fondo de un valle.

Formación. La escorrentía superficial se forma en las laderas, tanto a partir de la saturación del suelo cuando ya no es capaz de infiltrar toda el agua precipitada, como mediante flujos subsuperficiales que terminan saliendo a la superficie. El agua, acompañada de materiales erosionados y transportados en la propia ladera, se va concentrando en cárcavas y pequeñas incisiones del terreno que desaguan en barranqueras y estas en cauces mayores de la red fluvial. Así la escorrentía se va concentrando hasta alcanzar el río principal. Este puede contar ya con un caudal o flujo de base que se incrementará con el caudal o flujo directo generado en el proceso.

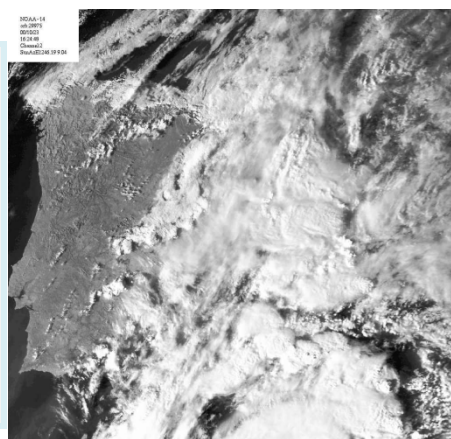


Imagen de satélite del 23-X-2000. J. de Luna.



Torrente en Senet (Lleida)

Factores de intensificación o de atenuación. Intervienen en la cantidad de caudal líquido y sólido que se va a acumular en la red fluvial y en la forma de evolución espacio-temporal del evento de crecida, en cómo se va a propagar valle abajo.

Como primer factor, las condiciones hidrometeorológicas previas en toda la cuenca, el grado de humedad y saturación de los suelos y el nivel de los acuíferos determinarán si la formación de escorrentía superficial es más o menos rápida y voluminosa. En general, si se habían registrado precipitaciones recientes la crecida se intensificará. También son fundamentales los caracteres físicos de la cuenca: cuál es su superficie, su topografía, litología (permeabilidad), densidad y naturaleza de la cubierta vegetal (intercepción), usos del suelo, capacidad del suelo y subsuelo para retener agua, presencia de infraestructuras, etc. En general, en cuencas con fuertes pendientes, rocas impermeables, escasa cubierta vegetal y elevada urbanización tendremos crecidas muy violentas con importantes picos de caudal.

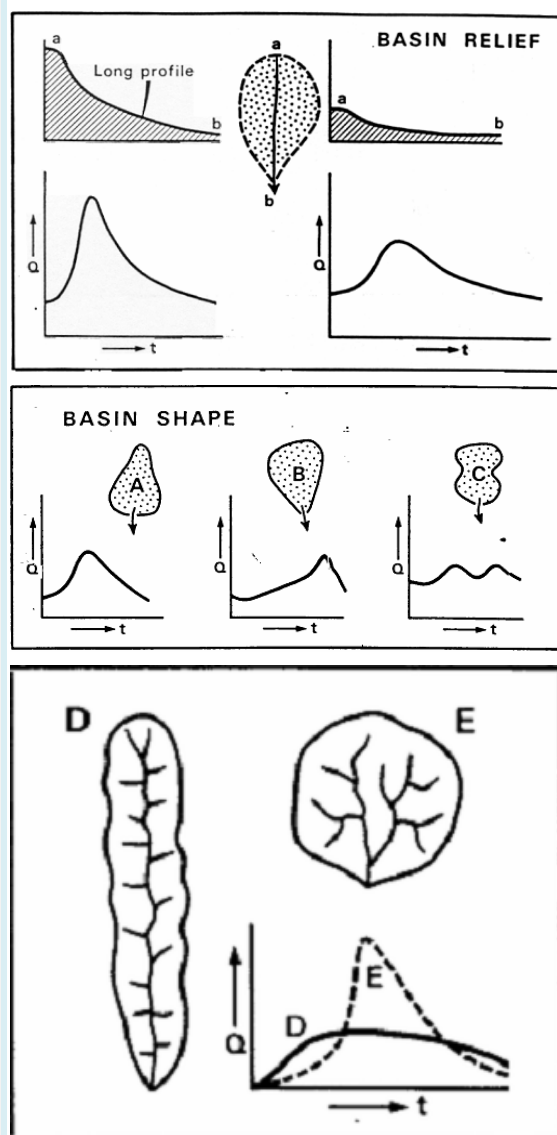
En tercer lugar, intervienen las características de la red de drenaje, la densidad, jerarquización y morfología de los cauces que la conforman. Así, las crecidas de los ríos principales dependerán en buena medida de la sincronía de las de sus afluentes.

Por último, a nivel local es fundamental la morfología fluvial de cada tramo, su geometría hidráulica y capacidad de desagüe, que puede estar modificada por procesos naturales o elementos antrópicos. También hay que tener en cuenta que durante la avenida los cauces van variando y acomodándose a los propios procesos desencadenados. Hay factores antrópicos que pueden intensificar una crecida, como la deforestación en la cuenca, la impermeabilización del terreno por urbanización, que incrementa la escorrentía y con ello el volumen y velocidad de la crecida, la rotura de alguna presa, que provocará un incremento del volumen, velocidad y punta, el represamiento por obstrucción en puentes o vados de sólidos flotantes, las defensas y encauzamientos que dirigen los efectos a tramos desprotegidos, la ruptura de defensas, que sobreelevará la inundación, los diques y vías de comunicación que dificultan el retorno del agua al cauce en la fase de descenso de caudal, prolongando en el tiempo la inundación, la ocupación de la llanura de inundación, quedando limitado su papel laminador de la crecida, o los movimientos de tierras y extracción de áridos, que incrementan el transporte sólido y con ello el volumen de la crecida.

También hay acciones humanas que atenúan las crecidas, como los embalses con capacidad de laminación, no siempre efectivos como veremos, y sobre todo la ordenación territorial con zonificaciones adecuadas de usos del suelo. Una cuenca poco urbanizada, con una cubierta vegetal bien conservada y gestionada y sin impactos ni ocupaciones en los cauces tendrá crecidas menos peligrosas.



Saturación del suelo en terreno de cultivo tras lluvias persistentes.
Jacetania, 22-X-2012. Foto: Estela Nadal.



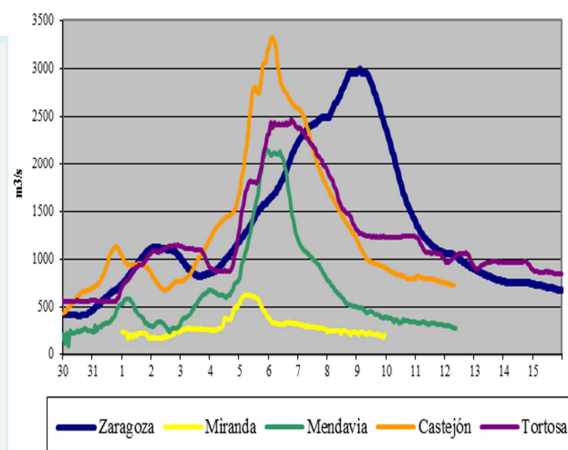
Gregory y Walling (1973) explicaron de forma sencilla cómo las pendientes de la cuenca, la forma de la misma y las características generales de la red de drenaje condicionan el funcionamiento de la crecida y la forma del hidrograma.

Recorrido, punta de caudal, desbordamiento y tiempo de concentración. Cada crecida presenta una distinta progresión o evolución en el espacio y en el tiempo, un distinto desarrollo desde su origen hasta el final del proceso, reflejados en su hidrograma. Los caudales-punta y los desbordamientos varían en los distintos tramos del curso fluvial. Normalmente la crecida cabe dentro del cauce en los primeros tramos, en el curso alto del río, pero conforme se incorporan afluentes la suma de sus caudales puede producir desbordamientos en su curso medio, donde es factible que el río tenga llanos de inundación como sistema de autorregulación por almacenamiento temporal del agua desbordada. Estos desbordamientos en el curso medio reducen la velocidad de la corriente y la punta de caudal, de manera que en el curso bajo la crecida alcanzará menos altura y el agua pasará a lo largo de más tiempo, aplanándose o suavizándose el hidrograma.

Destacan por su elevada peligrosidad, carácter repentino y rápida circulación las crecidas relámpago o flash-floods, que se registran en tramos altos o cursos cortos de fuerte pendiente y/o como consecuencia de tormentas intensas muy localizadas. Son ejemplos relevantes la crecida del barranco de Arás que arrasó el camping de Biescas en 1996 o la crecida del Matarranya en octubre de 2000.

Otras crecidas, sobre todo en grandes ríos, discurren con lentitud presentando incrementos de caudal en las confluencias y extensos desbordamientos en las llanuras de inundación. En ocasiones, sobre todo si hay motas en las orillas del cauce, la inundación se inicia en terrenos alejados de éste a través del freático, extendiéndose mucho la zona inundada, como ocurrió en el curso medio del Ebro en la crecida de febrero de 2003. Algunos grandes ríos tienen en sus cursos bajos el cauce menor más alto topográficamente que la llanura de inundación, produciéndose también inundaciones de gran extensión y calado.

Con algunas fórmulas sencillas se puede estimar el tiempo de concentración o tiempo aproximado medio que puede tardar una crecida en llegar a un punto determinado del río desde el momento en que se produce una precipitación en la cabecera de una cuenca. Por ejemplo, la fórmula de Témez (1987) establece que $T_c = 0,3 (L / P^{0,25})^{0,75}$, siendo T_c el tiempo de concentración en horas, L la longitud del cauce (km) desde el nacimiento o desde el punto donde se considera la precipitación máxima que origina la crecida (A) hasta el punto en el que queremos conocer el tiempo (B) y P la pendiente media (m/m) del curso fluvial entre los puntos A y B, es decir, el desnivel que salva el río entre A y B dividido entre la distancia entre A y B por el cauce del río. Por ejemplo, una precipitación tormentosa de gran intensidad registrada en los estrechos del Parrizal tardaría $T_c = 0,3 (8,75 / 0,03154^{0,25})^{0,75} = 2,92$ horas en llegar como punta de crecida a Beceite y $T_c = 0,3 (15,7 / 0,02153^{0,25})^{0,75} = 4,86$ horas en llegar a Valderrobres.



Hidrograma de la crecida del Ebro en febrero de 2003. El episodio fue muy lento, de manera que en Castejón de Navarra (línea naranja) se alcanzó la punta de caudal 4 días antes que en Zaragoza (línea azul oscuro). La curva de Tortosa (morada) es demasiado pronto porque se debe al desembalse de Mequinenza.



Inundación a partir del freático (esquema extraído de una publicación didáctica del Ministerio de Ecología francés, 2004).



Beceite, crecida 2013
(beceite.blogspot.com.es)



Beceite, crecida 2000 Foto: Javier de Luna

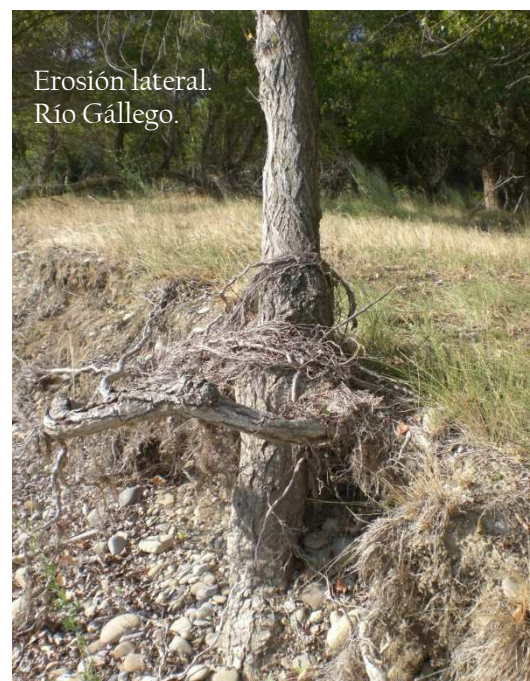
Erosión. Las aguas de arroyada que se han concentrado en laderas e incisiones y las encauzadas ya en la red de drenaje circulan con suficiente fuerza (derivada de la cantidad de agua circulante y de la pendiente) para arrancar materiales de las laderas (rocas, piedras, sedimentos finos, suelo), en lo que constituye el proceso geomorfológico de erosión. A los materiales inertes erosionados por el agua e incorporados a la corriente hay que añadir numerosos elementos orgánicos vivos y muertos que el agua arranca y arrastra, así como basuras y otros elementos antrópicos que se encontraran en la zona de paso de la crecida. Todo ello se incorpora al transporte fluvial.

La crecida ha comenzado erosionando en las laderas, barranqueras y pequeños cauces, pero al llegar al río lo sigue haciendo tanto en sus orillas (erosión lateral) como en el fondo del lecho (erosión vertical). Si el cauce es rocoso la capacidad de erosión es escasa, aunque se producirán raspados, cavitaciones y en calizas procesos de disolución. Pero si el cauce es aluvial, es decir, si el río discurre por sus propios sedimentos, los procesos de erosión lateral y vertical serán intensos, desagregándose y poniéndose en movimiento todos los sedimentos de tamaño inferior al valor crítico que pueda ser transportado en función de la competencia de la corriente (resultante de la cantidad de agua que discurra en la crecida y de la pendiente del tramo). Así, habrá orillas que asistirán a importantes retrocesos erosivos, hasta incluso poder llegar a producirse desvío del cauce o una corta de meandro. Y en determinados puntos la crecida excavará en el fondo. Se dice que el río ataca o “se come” su propio cauce y en realidad es así: el río erosiona porque le sobra energía en crecida, consume ese sobrante erosionando y al hacerlo busca su propia regulación, su equilibrio. Al erosionar incorporando materiales a su corriente, la crecida trabaja para el río al menos de cuatro maneras: ganando espacio evacuando las “orillas que le sobran”, rebajando su fondo en busca de su perfil de equilibrio longitudinal, incorporando materiales al flujo para conseguir ralentizar este y, en suma, reconstruyendo su propio cauce de acuerdo con el objetivo de ser capaz de evacuar eficientemente la siguiente crecida similar. Por todo ello la erosión fluvial, demonizada porque altera nuestros bienes y propiedades, no debería ser considerada un proceso negativo, destructivo, sino todo lo contrario, un proceso geomorfológico que hay que respetar y valorar como necesario y connatural en el funcionamiento del río. Sin erosión no habrá transporte ni sedimentación, ni playas en nuestras costas.

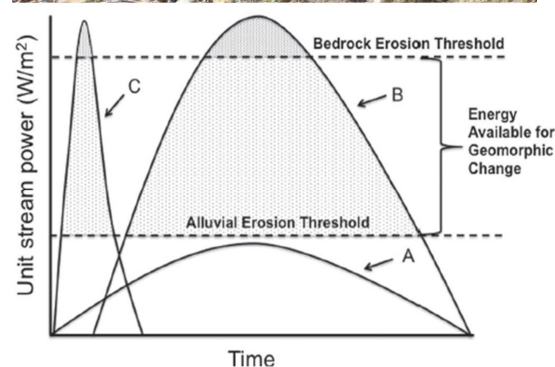
En casi todos los cauces podemos identificar con facilidad orillas erosivas, que son aquellas predispuestas al embate más directo y con mayor velocidad y potencia de la corriente en crecida. Son orillas más escarpadas y profundas y con una forma ligera o marcadamente cóncava que facilita que la máxima velocidad del agua se registre adosada a esta orilla y no por el centro del cauce. En la margen opuesta de toda orilla erosiva suele haber una orilla sedimentaria.



Erosión vertical con cavitación. Salt de La Portellada, río Tastavins, 30-XI-2014. Foto: J. de Luna (Heraldo de Aragón)



Erosión lateral.
Río Gállego.



Modelo conceptual que describe el papel relativo de la duración del flujo y la potencia específica en la generación de una crecida geomórfica. La curva A representa una crecida larga pero de escasa energía. La curva B una crecida de duración moderada-larga con elevada potencia específica. La curva C es una crecida relámpago (tomado de Magilligan et al., 2015, y Costa y O'Connor, 1995).

Transporte. La crecida evacúa el caudal líquido hacia el mar acompañado de los materiales orgánicos e inorgánicos que ha erosionado. Este proceso de transporte es complejo, irregular y escalonado y está condicionado por la pendiente y morfología del cauce, el volumen de la crecida (que determina la competencia o capacidad de la corriente) y los materiales disponibles. El trabajo de transporte de los materiales que acompañan al agua, algunos de ellos procedentes de los procesos de erosión, se realiza por disolución, por suspensión, por saltación y por rodamiento. En crecida funcionan los cuatro mecanismos con gran eficiencia generándose un transporte masivo en forma de caudal sólido o carga que puede distinguirse por la turbidez y el ruido que produce en circulación.

Según la cantidad de sedimento que acompaña al agua en el proceso de crecida pueden diferenciarse tres tipos de situación:

- Crecida propiamente dicha, cuando la carga sólida está por debajo del 40% del peso y del 20% del volumen total movilizado.
- Flujo hiperconcentrado, cuando la carga sólida se encuentra entre el 40 y el 70% del peso y entre el 20 y el 47% del volumen, circulando agua y sedimentos a distinta velocidad
- Debris flow o colada de derrubios, cuando el caudal sólido supone entre el 70 y el 90% del peso y entre el 47 y el 77% del volumen total, movilizándose los componentes sólido y líquido como un cuerpo viscoso unitario.

Con el transporte se renuevan continuamente los sedimentos del río, que en cada crecida van avanzando hacia aguas abajo, más o menos en función de su tamaño y de los obstáculos que pueden encontrar.

Sedimentación. Mientras el agua y los materiales transportados en disolución o en suspensión llegarán con rapidez al mar, los otros materiales de mayor tamaño avanzan con mayor lentitud, ya que se sedimentan o almacenan temporalmente en determinados recintos del curso fluvial. Un grano de arena necesitará pocas crecidas para llegar al mar, aunque también puede caer en una trampa sedimentaria, quedándose durante siglos al resguardo de unos sauces que le protegen de la corriente. Un canto rodado apenas avanzará 500 m en cada crecida, de una playa sedimentaria a la siguiente, quedando allí depositado hasta la siguiente avenida.

Salvo que la crecida haya producido algún cambio de trazado radical en el cauce, como una avulsión o una corta de meandro, la corriente tiende a depositar los sedimentos siempre en las mismas zonas. Así, habrá unas orillas sedimentarias, contrapuestas a las orillas erosivas ya mencionadas. En estas orillas sedimentarias crecerán barras de sedimentos. Y habrá más zonas sedimentarias, como los conos aluviales al pie de los torrentes de montaña, islas cuando el cauce se



Río Barrosa (valle de Bielsa, Huesca).
Crecida de octubre de 2005



Acumulación sedimentaria resultante de un flujo hiperconcentrado en los Alpes.



En los cauces en roca también se registra transporte de sedimentos gruesos, que quedan retenidos en determinados tramos hasta la siguiente crecida. Río Susía (Huesca). Foto: Daniel Ballarín.



En las playas de grava renovadas por una crecida podemos encontrar restos de madera muerta arrastrada e integrada con los sedimentos. Curso bajo del río Gállego.

divide en brazos, las propias llanuras de inundación, o los deltas en las desembocaduras.

La crecida sedimenta en los lugares y en los momentos en los que pierde energía situando su fuerza por debajo del valor crítico que permitía la movilización de los materiales.

Las barras de sedimentos se ubican en orillas sedimentarias (barras laterales o de meandro, adosadas a la margen) o bien en el centro del cauce (barras centrales o islas) en tramos donde se reduce localmente la pendiente. Cada crecida excava y arrastra una capa superficial de la barra (si ésta no está colonizada por la vegetación) y en la fase de descenso de caudal recoloca allí una nueva lengua de sedimentos que ha transportado y que provienen de barras situadas aguas arriba. La barra así se ha renovado y puede haber cambiado su forma, su tamaño y su altura.

Los conos aluviales que se forman en la base de los torrentes de montaña son grandes acumulaciones de sedimentos en forma de abanico que en cada crecida del torrente reciben nuevos sedimentos y progradan, es decir, aumentan y avanzan. Este proceso se compensa con la erosión y evacuación del “sobrante” del cono por parte de las crecidas del río en el que el torrente desemboca. Del mismo modo, los deltas crecen con los aportes sedimentarios del río y son recortados por la acción de las aguas marinas.

La sedimentación en las llanuras de inundación se produce principalmente por decantación de materiales finos (limos) durante la crecida, ya que este recinto se inunda pero no entra el agua con corriente, sino que al permanecer el agua quieta cubriendo el terreno van cayendo y acumulándose las partículas en suspensión, que formarán un suelo de extrema fertilidad.. Ahora bien, en las zonas más próximas al cauce de la llanura de inundación la crecida también puede haber generado redistribuciones más complejas de materiales por entrada de corrientes anárquicas, resultando microformas de relieve, acumulaciones de gravas, inicios de nuevos cauces, profundos socavones, corrimientos de tierras, elevación de diques naturales de ramas y materiales arrastrados, etc.

Laminación. Es la fase final de la crecida, el proceso de descenso y reencauzamiento de las aguas desbordadas. Es gradual, paulatino, generalmente más lento que la fase de ascenso.

Durante el proceso de laminación la crecida realiza un trabajo fundamental en busca de un nuevo equilibrio tras su manifestación de caudal extremo. Aunque los procesos de erosión tanto en las orillas como en el fondo del lecho han podido ser más intensos durante el ascenso y punta de caudal, la laminación o retorno de las aguas a su cauce supone otro momento de máxima energía que puede terminar de activar procesos preparados por el río en las fases anteriores, como por ejemplo la corta de un meandro.



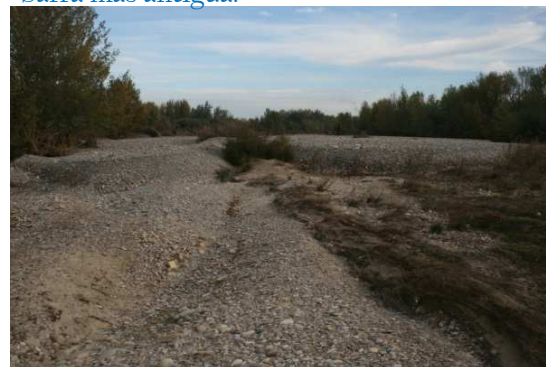
Barras de sedimentos en el Río Aragón.
Foto: Askoa Ibisate.



Barra de meandro (point-bar) con sucesión de acumulaciones que se van superponiendo y avanzando. Río Aragón.



Lóbulo de material depositado por una crecida reciente del río Gállego sobre una barra más antigua.



Un tamariz semienterrado ha obstaculizado y dirigido la sedimentación en el río Gállego

Ahora bien, con el descenso, cuando velocidad y profundidad disminuyen, lo que predomina es la sedimentación diferencial de materiales: los finos se quedan en la llanura y los gruesos cubren barras, islas y fondo del lecho. Al final, el balance es muy similar a la situación inicial, aunque algunas barras han podido ganar en altura y algunas pozas pueden ser algo más profundas. En ramblas y barrancos también dominó la excavación del lecho en el ascenso de las aguas, y ahora con la laminación se produce el relleno de materiales, volviendo a un estado que tiende al equilibrio.

Con la laminación una gran cantidad de nutrientes abastece al cauce por retorno desde los espacios inundables, favoreciendo a las comunidades acuáticas. Y al descender el nivel de la corriente encauzada y el nivel freático asociado, las aguas que han quedado encharcadas en la llanura de inundación se infiltran recargando y renovando los acuíferos aluviales, o bien se evaporan.



Río Ebro desbordado en Cabañas (Zaragoza) en la crecida de 1992. Foto: Javier San Román.

Una vez explicado el proceso de crecida vamos a analizar brevemente sus consecuencias, cómo ha podido responder el río, cuáles han sido los efectos en los medios abiótico, biótico y humano.

En el medio abiótico la crecida ha trabajado intensamente en sus mecanismos geomorfológicos: ha activado los procesos de ladera en la cuenca, ha movilizado materiales sólidos desde todas las cabeceras y casi desde cualquier punto de la cuenca, ha progradado los conos aluviales, ha acelerado e intensificado en todos los cauces los procesos de erosión, transporte y sedimentación, generando cambios en la geometría y morfometría del cauce y puede que incluso variaciones de trazado, ha renovado la sedimentación en las llanuras de inundación, propia formación y los procesos en los llanos de inundación, ha podido renovar la morfología de alguna confluencia o desembocadura, e incluso, a posteriori, la crecida puede haber reactivado simas y generado colapsos en las proximidades del río.

En el medio biótico la crecida ha acelerado muchos intercambios ecológicos y ha renovado y rejuvenecido las poblaciones de seres vivos acuáticos y ribereños. Constituye un mecanismo de control demográfico, ha producido la muerte y arrastre de innumerables animales y vegetales. Pero también ha generado nuevas superficies colonizables y ha diversificado ambientes y hábitats, poniendo las bases para la regeneración y para el mantenimiento e incremento de la biodiversidad. La crecida ha reconectado temporalmente el cauce principal con brazos muertos, con el corredor ribereño y con la llanura de inundación, de manera que ha llevado materia orgánica y sedimentos finos a esas zonas, reconstituyendo su stock de nutrientes, y luego, con la laminación, ha incorporado biomasa de la llanura de inundación al cauce menor, constituyendo un recurso trófico adicional fundamental para la fauna piscícola. En muchas zonas crecidas en invierno o primavera son muy positivas para la reproducción de los peces y para el desarrollo de la vegetación de ribera.

En el medio humano la crecida ha podido producir daños en infraestructuras (vías de comunicación, sistemas de telecomunicación, viviendas, instalaciones industriales, edificaciones agrícolas, puentes, defensas, presas, azudes, aforos, red de agua potable, aterramiento de embalses, canales y acequias, rotura de conducciones enterradas, etc.) y con ello deterioro de actividades y pérdidas económicas directas e indirectas (paralización de actividades, corte de comunicaciones y de energía, gastos en reparaciones, limpieza general y ayudas de emergencia, conflictos de propiedad, etc.). En determinados casos pueden perderse vidas humanas o generarse epidemias. Pero las crecidas también aportan importantes beneficios, como vemos a continuación.

1.3. Beneficios de las crecidas de los ríos

Las crecidas de los ríos son fenómenos naturales que no pueden evitarse. Son procesos universales y frecuentes, tan normales que deberíamos estar perfectamente preparados para convivir con ellos, como lo estuvieron nuestros antepasados generación tras generación. En todos los cursos fluviales ha habido y habrá crecidas, ya que son, como hemos visto, la respuesta hidrológica y geomorfológica a situaciones meteorológicas de elevada precipitación y a procesos de deshielo. Por eso una crecida, por extraordinaria que sea, nunca puede considerarse imprevisible. Las áreas inundables por crecidas fluviales superan el 10% de la superficie de las tierras emergidas del planeta y más de un tercio de la población mundial vive en ellas.

Las crecidas fluviales son necesarias para el correcto funcionamiento del río y para su buen estado ecológico y aportan enormes beneficios a ecosistemas y sociedad. A continuación se describen esos beneficios, que ya se han ido poniendo de manifiesto en el capítulo precedente.

- La crecida es el arquitecto del cauce del río, lo dimensiona adecuadamente para que cumpla con eficiencia sus funciones de transporte. La crecida puede abrir cauces secundarios y cortar meandros, siempre buscando un equilibrio entre erosión y sedimentación. Si respetamos la forma y dimensiones del cauce y del espacio fluvial contaremos con un río sano y eficiente que funcionará correctamente en las siguientes crecidas y también con caudales medios y en estiaje.



- La crecida es el motor de la dinámica fluvial, acelerando los procesos geomorfológicos de erosión, transporte y sedimentación en cada tramo por el que pasa, reclasificando adecuadamente todos los sedimentos. Esta renovación de sedimentos genera nuevos hábitats, así como áreas de refugio y enclaves para la freza de peces, favoreciendo un complejo y rico mosaico de formaciones vegetales bien estructuradas que servirán de filtro y contribuirán a reducir la energía de las siguientes crecidas.

- La crecida limpia el cauce, al remover los sedimentos y oxigenar los fondos, lo que favorece a los seres vivos y evita la proliferación de patógenos y enfermedades. Esta renovación hídrica siempre tiene efectos beneficiosos en la salud humana.

- Las crecidas realizan a su paso un control demográfico de especies animales y vegetales, renovando, transportando y rejuveneciendo las poblaciones. Con ello, arrastran madera muerta y otros restos orgánicos que distribuirán convenientemente generando nuevos microhábitats y proporcionando alimentos a numerosas especies. Todos los seres vivos propios del río y de las riberas están adaptados a estas pulsaciones de caudal, a vivir crecidas y estiajes.

- Las crecidas expanden sedimentos y nutrientes enriqueciendo toda la llanura aluvial, al conectar el cauce con los terrenos laterales inundables al producirse el desbordamiento. Del mismo modo, al terminar la crecida y volver las aguas a su cauce, abundantes nutrientes hacen el camino inverso, desde la llanura hasta el cauce, aportando alimento a los seres vivos acuáticos.

- Las crecidas, por tanto, han creado las fértiles llanuras de inundación aprovechadas para el cultivo de huerta desde las civilizaciones antiguas. Crecida a crecida esas llanuras han sido fertilizadas por las aguas desbordadas, ya que cada crecida aporta una capa de fértil sedimento fino y de nutrientes al espacio inundado. En estas vegas inundables óptimas para la agricultura, el hombre ha convivido siempre con el río, asumiendo la pérdida de las cosechas los años de inundación a cambio de varios años posteriores de gran fertilidad.

- Cada crecida recarga el acuífero aluvial, una gran esponja de agua subterránea. Muchas plantas, tanto las cultivadas como las de la vegetación de ribera natural, viven de esa agua freática que absorben por las raíces. En momentos de sequía y estiaje esas aguas subterráneas volverán al cauce y mantendrán el caudal estival del río., el flujo de base. Por eso, si ese año ha habido crecida, la sequía se notará mucho menos a lo largo de todo el curso fluvial.

- Las crecidas diluyen los contaminantes, tanto los del agua que circula por el cauce como los que hayan penetrado en el acuífero, procedentes de la industria, de los núcleos urbanos (las depuradoras solo resuelven el problema parcialmente), de la ganadería o del uso excesivo de fertilizantes en la agricultura. La vegetación de ribera también trabaja en esta depuradora natural, absorbiendo por sus raíces el exceso de nutrientes. Así, con las crecidas y la vegetación, mejora la calidad del agua que bebemos y con la que regamos las huertas y campos de cultivo.

- La fuerza de la corriente en crecida es capaz de arrancar macrófitos (plantas sumergidas y flotantes, algas, etc.), entre los que se incluyen especies invasoras y en los que la mosca negra y otros insectos que pueden transmitir enfermedades realizan sus procesos de reproducción. Los macrófitos pueden también taponar conductos y generar problemas en usos industriales. Además, la turbidez por sólidos en suspensión que aportan las crecidas beneficia a todo el ecosistema y en concreto controla la proliferación de los macrófitos sumergidos.

- Las crecidas movilizan abundantes sedimentos en suspensión y nutrientes que llegarán hasta el mar, aumentando la fertilidad pesquera y proporcionando la arena a las playas litorales. Muchas especies marinas de peces de las que nos alimentamos dependen de los nutrientes que arrastran los ríos en sus desembocaduras para alimentarse en sus primeras etapas de desarrollo.



Imagen de satélite del Delta del Ebro en la crecida de abril de 2007, mostrando la salida de sedimentos al mar.

Ante tantos beneficios, respetar las crecidas y no impedir las es una medida inteligente. Un río que mantenga todas sus crecidas naturales está sano, funciona perfectamente y nos presta

abundantes servicios. Sin embargo, un río sin crecidas se muere como ecosistema y no nos puede aportar nada, le falta el bien más preciado, su libertad geomorfológica y ecológica. En ríos regulados mediante embalses se utilizan estos cuando no están llenos para laminar las crecidas, reduciendo éstas en número y caudal aguas abajo. Con ello se pueden reducir algunos daños de las inundaciones, pero a medio y largo plazo esa reducción de crecidas genera numerosos efectos negativos, como veremos con más detalle.

Si no hay crecidas los suelos de las huertas se empobrecerán, los contaminantes se acumularán sin solución, se modificará negativamente la morfología de los cauces (estrechándose y encajándose), aumentarán las especies invasoras, las sequías estivales serán más graves, los sedimentos serán colonizados y fijados por plantas terrestres y macrófitos y no podrán avanzar aguas abajo y, en consecuencia, los deltas y las playas serán invadidos por el mar.

Solo una sociedad sin cultura ambiental puede ver las crecidas como catástrofes naturales.



Río Barrosa en situación de máximo caudal geomórfico, crecida de octubre de 2005



Crecida del río Azuer (Ciudad Real). El desbordamiento recupera el cauce natural en este tramo en el que el río se ha canalizado. Foto: C. H. del Guadiana

2 El riesgo de inundación

2.1. Las inundaciones, un sistema de autorregulación

El propio río regula sus crecidas mediante un sistema inteligente de almacenamiento espacial y temporal. Así, mediante el desbordamiento y la inundación del espacio fluvial lateral adyacente, el río consigue expandir su flujo e ir reduciendo la energía y la altura de la crecida conforme avanza aguas abajo. Al mismo tiempo va distribuyendo los sedimentos y nutrientes que transporta y también recarga las aguas subterráneas, como hemos visto. En suma, el propio funcionamiento natural del río tiende a reducir o laminar los caudales circulantes favoreciendo que parte de la crecida se desborde por las riberas y la llanura de inundación, evitando así efectos mayores en su propio cauce por concentración de caudales aguas abajo.

Por tanto, el primer sistema regulador de sus propios procesos extremos es el río, que cuenta con mecanismos naturales para gestionar sus inundaciones. El río ha construido a lo largo del Cuaternario su propio cauce, dimensionado para evacuar eficazmente las crecidas pequeñas, y sus llanuras de inundación, preparadas para disipar la energía y almacenar temporalmente las aguas desbordadas. Los conos aluviales, los deltas, la sucesión de rápidos y pozas, las propias barras de sedimentos, la vegetación viva y la madera muerta, aportando todo ello rugosidad, constituyen también eficaces elementos de ralentización y gestión de las aguas de avenida.

Por todo ello, la conservación de los ríos tal y como son y la restauración fluvial serán las primeras propuestas efectivas en la gestión de inundaciones.



Imágenes del río Ebro en la crecida de 2003 aguas arriba de Zaragoza, donde la llanura de inundación alcanza anchuras de hasta 4 km que permiten reducir el nivel de las crecidas y ralentizar el paso de la punta de caudal.



Las inundaciones fluviales se producen cuando la crecida supera el umbral de desbordamiento y se expande fuera del cauce menor, inundando el cauce mayor o llanura de inundación.

Pero no todas las inundaciones vienen de los ríos, cualquier terreno puede inundarse a causa de una precipitación intensa. Y también hay inundaciones litorales (por elevación del nivel del mar, marea viva, tsunamis), lacustres, por elevación del freático, por cierre hidráulico en confluencias y desembocaduras, por represamientos, por impermeabilidad urbana, etc.

Y hay crecidas que no generan inundaciones, sino que caben dentro del cauce menor.

2.2. Peligros y riesgo

Las crecidas fluviales y sus inundaciones asociadas son procesos naturales. Pueden considerarse procesos extremos por su alta intensidad y baja frecuencia, es decir, porque se salen de los valores medios y habituales del funcionamiento fluvial. Pero aunque tengan ese carácter extremo o extraordinario no son raros, excepcionales ni imprevisibles. Al contrario, son normales y necesarios en cualquier río, forman parte del mismo. Por todo ello, **crecidas e inundaciones no son, por sí mismos, un peligro, son simplemente procesos naturales.**

Pero, ¿las crecidas y las inundaciones pueden ser peligrosas para el hombre? La respuesta es afirmativa. Así, en la terminología del riesgo y, por tanto, **desde una perspectiva humana, sí las debemos considerar un peligro natural**, por una simple cuestión de prudencia y responsabilidad. Un peligro natural se define como el fenómeno o proceso de carácter natural que puede originar daños a una comunidad, a sus actividades o al medio ambiente. Al conjunto de peligros de origen natural que pueden afectar a una sociedad se le llama peligrosidad natural y es uno de los factores del riesgo.



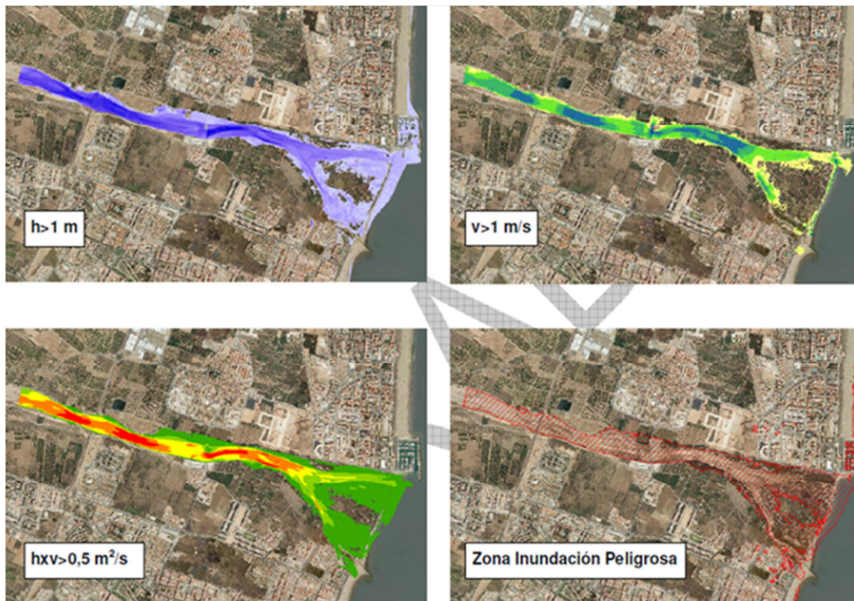
Ballobar (Huesca), localidad en riesgo, con peligro de inundaciones (río Alcanadre) y de desprendimientos de ladera (ripas)

Concretando, **¿qué aspectos de las crecidas e inundaciones son peligrosos para el hombre y su actividad?** Los cinco más claros son **la velocidad del agua, el calado o profundidad, el caudal sólido asociado, el área inundada y la duración de la inundación.** Cuanto más altos sean, más daños pueden causar. Los dos primeros son determinantes como peligro para las personas, considerándose de forma general que hay peligro de caída y ahogamiento cuando la corriente supera una velocidad de 1 metro/segundo o un calado de un metro. También se considera que hay peligro para los edificios y estructuras si el calado es mayor de 3,6 m, o el producto de calado por velocidad es mayor de 6. El caudal sólido también puede incrementar los daños personales y materiales. Los dos últimos aspectos condicionan especialmente la extensión y gravedad de las pérdidas económicas. Los cinco aspectos señalados dependen del origen de la crecida y de la inundación, del tipo geomorfológico de curso fluvial y tramo y del volumen y rapidez de propagación de la crecida.

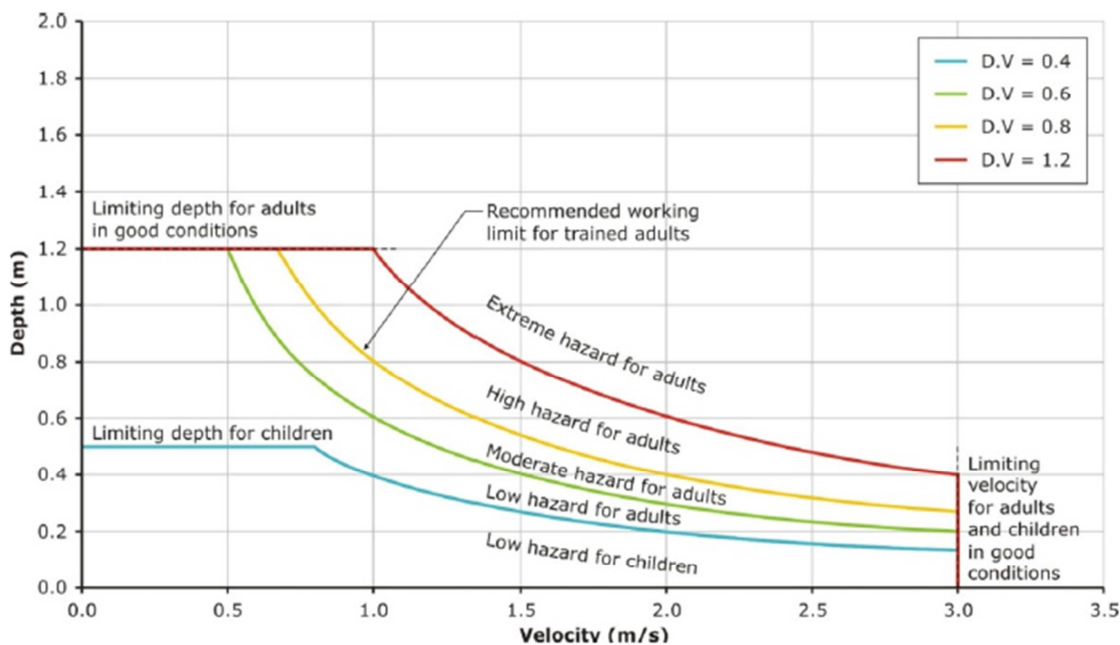


Otro aspecto a considerar es la época del año e incluso el momento del día, ante la posibilidad de que haya más o menos actividades económicas en marcha.

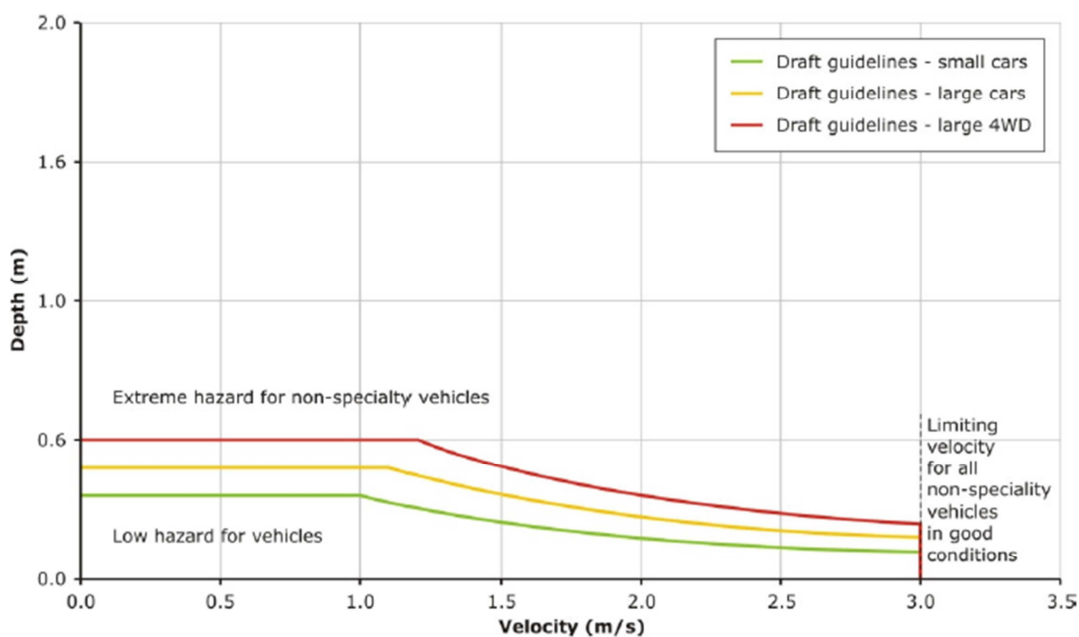
Trabajos de rehabilitación tras la crecida del arroyo de la Gaznata en Herradón de Pinares (Ávila) en septiembre de 1999. Foto: IGME.



Cartografía de peligrosidad combinando el calado, la velocidad y el producto de ambos en la desembocadura del río Palancia (Sagunto).



Umbrales para la estabilidad de las personas en crecida (en Cox et al., 2010, citado por McLuckie et al., 2014)



Umbrales para la estabilidad de los vehículos en crecida (en Shand et al., 2011, citado por McLuckie et al., 2014)

Riesgo natural es la posibilidad de que un territorio y la sociedad que lo habita puedan verse afectados por un fenómeno natural de rango extraordinario. Desde una perspectiva ambiental también puede definirse el riesgo natural como una situación en la que el hombre en el desarrollo de sus actividades ha superado el umbral de seguridad ante posibles procesos naturales extremos.

Para que haya riesgo tiene que haber personas y actividad humana. Si no las hay, no hay riesgo ni peligro, sino solo procesos naturales. Para que haya riesgo y para poder evaluarlo, hay que contar con los tres factores del riesgo:

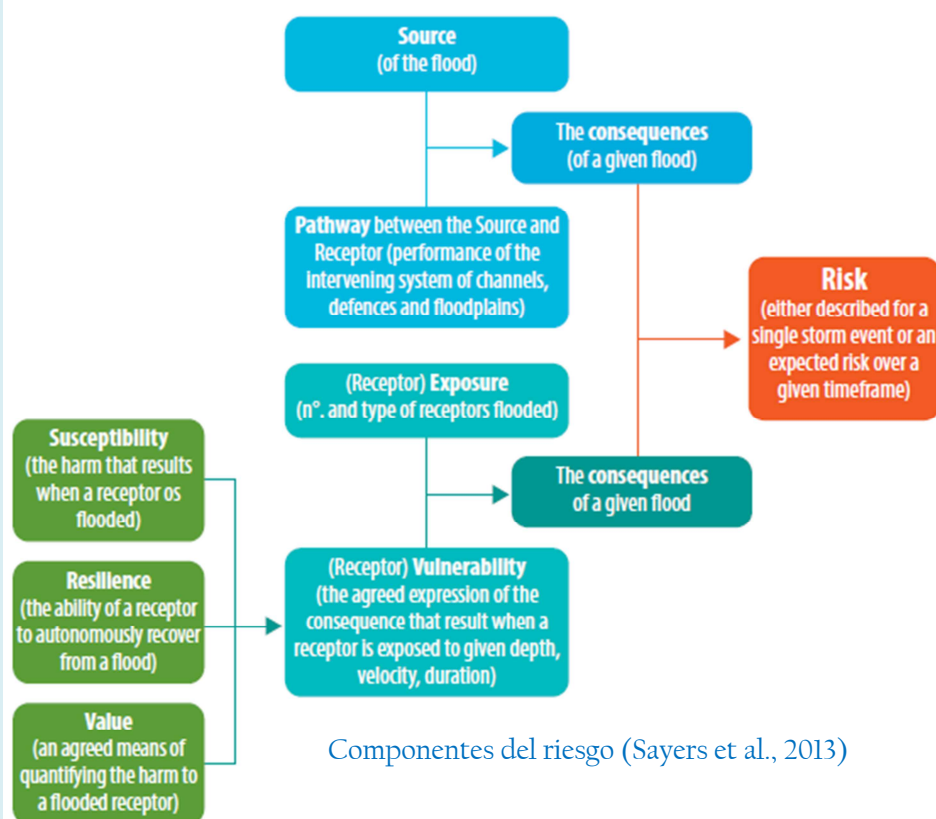
- **Peligrosidad natural**, es decir, presencia de fenómenos o procesos naturales susceptibles de causar daños personales o económicos. Cada peligro se mide como probabilidad de ocurrencia.
- **Exposición territorial**, que es la disposición sobre el territorio de un conjunto de bienes (exposición económica) y personas (exposición social) que pueden ser dañados por un peligro natural. Se mide cuantificando el número de personas y bienes expuestos al riesgo.
- **Vulnerabilidad social**, que es la pérdida esperable en función de la fragilidad o del grado de preparación de la sociedad frente al riesgo. Se mide como tanto por uno de daños esperados.

Del producto de los tres factores resulta el nivel o grado de riesgo, que puede ser cuantificado (midiendo lo señalado en cada factor), comparado y cartografiado. Hay que considerar también aquí un cuarto factor, el **tiempo**, a lo largo del cual pueden variar los factores y, por tanto, el riesgo.

En general, los riesgos naturales se han incrementado progresivamente en las últimas décadas en todo el mundo, y ello se debe al **incremento continuo de la vulnerabilidad y exposición antrópica** a los peligros naturales. En buena medida es una consecuencia directa de la superpoblación. Está claro que no hay un aumento de la peligrosidad como efecto de castigos de divinidades o de la propia naturaleza. El verdadero problema es la **imprudencia del ser humano a la hora de llevar a cabo acciones sobre el territorio**. Como señala el profesor Jorge Olcina, nos

hemos convertido en una “sociedad de riesgo” que fabrica “territorios de riesgo”.

Además, en los últimos años diferentes grupos científicos van observando una **tendencia al incremento de los procesos hidrológicos extremos como consecuencia del cambio climático global y del cambio geomorfológico global**, ambos igualmente provocados por acciones humanas. Parece claro que ante esta perspectiva cada vez se hace más urgente y necesaria una gestión coherente y sostenible de estos riesgos.

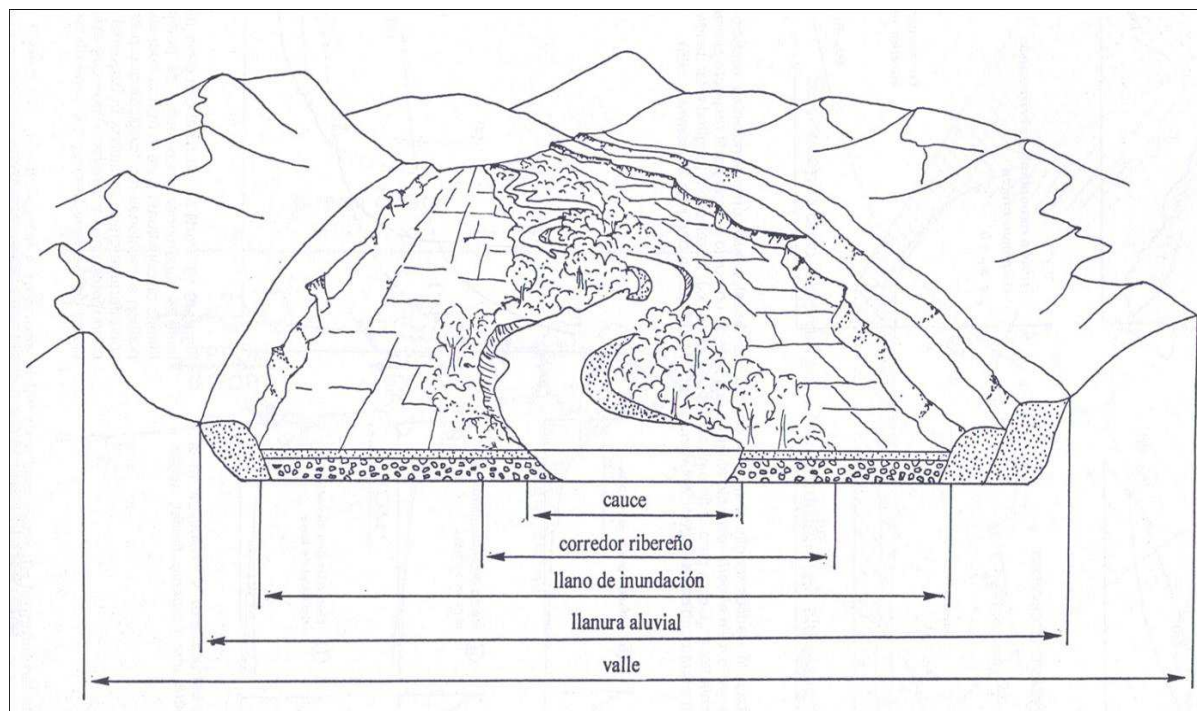


Componentes del riesgo (Sayers et al., 2013)

2.3. Riesgo de inundación, espacios inundables y la Directiva 2007/60/CE

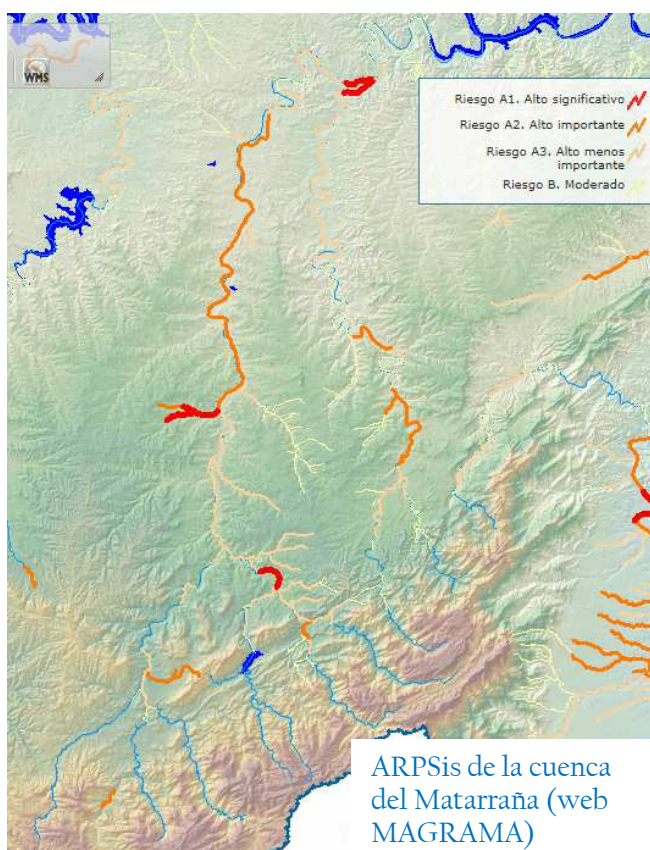
El riesgo de inundación se estudia, cuantifica y cartografía a partir del análisis de sus factores peligrosidad, exposición y vulnerabilidad. **Es un riesgo universal, el más extendido mundialmente, el más frecuentemente experimentado y el que mayores daños y pérdidas ocasiona en conjunto.** Es igualmente fundamental en nuestro ámbito geográfico, con una gran importancia territorial. En España entre 1971 y 2013, el 68,9% de la siniestralidad indemnizada por el Consorcio de Compensación de Seguros correspondía a daños por inundaciones. Según el citado Consorcio y el Instituto Geológico y Minero de España, en nuestro país los daños por inundaciones se estiman en una media de 800 millones de euros anuales. El RD 903/2010 señala que las inundaciones en España constituyen el riesgo natural que a lo largo del tiempo ha producido los mayores daños tanto materiales como en pérdida de vidas humanas.

La plasmación territorial del riesgo de inundación son los espacios inundables. En principio, cualquier superficie aproximadamente llana es susceptible de inundación. Pero a partir de aquí vamos a centrarnos exclusivamente en espacios inundables fluviales, dejando al margen otras posibilidades. **Los espacios inundables fluviales están conformados por los cauces mayores o llanuras de inundación de ríos, torrentes, barrancos y ramblas y pueden ser identificados y delimitados perfectamente con criterios hidrológicos y geomorfológicos.** Así, las crecidas con periodos de retorno de 500 años inundan generalmente la totalidad de las llanuras de inundación, que además presentan unos límites topográficos externos generalmente bien marcados, así como indicios geomorfológicos claros de cuál es su límite. El espacio inundable, por tanto, suele estar claro. Pero no es homogéneo, y normalmente se subdivide en bandas con diferente frecuencia de inundación o de diferentes ambientes biogeomorfológicos (cauce, corredor ribereño, resto de la llanura de inundación). Muchos ríos pequeños o de montaña no presentan esta diversidad, pero en ellos también es fácil delimitar con precisión el espacio inundable.



La puesta en valor de los espacios inundables como elementos clave de la gestión de inundaciones es uno de los principales logros de la Directiva 2007/60/CE sobre Evaluación y

Gestión de los Riesgos de Inundación, aprobada por la Comisión Europea en noviembre de 2007 y transpuesta a la legislación española mediante el Real Decreto 903/2010 de evaluación y gestión de riesgos de inundación. La Directiva reconoce que “las inundaciones son fenómenos naturales que no pueden evitarse, pero que, no obstante, algunas actividades humanas (como el incremento de los asentamientos humanos y los bienes económicos en las llanuras aluviales y la reducción de la capacidad natural de retención de las aguas por el suelo) y el cambio climático están contribuyendo a aumentar las probabilidades de que ocurran, así como su impacto negativo”. El principal objetivo de la Directiva es reducir y gestionar los riesgos derivados de las inundaciones para la salud humana, el medio ambiente, el patrimonio cultural y la actividad económica. Para ello exige cartografiar la peligrosidad y el riesgo de inundación en todas las regiones donde este riesgo es elevado, acometer actuaciones coordinadas en las cuencas hidrográficas compartidas por varios países y elaborar planes de gestión de los riesgos de inundación que sean el resultado de una cooperación y una participación lo más amplias posible de los Estados miembros. Estableció que cada uno de estos acometieran una **evaluación preliminar del riesgo de inundación para el año 2011, mapas de peligrosidad y de riesgo de inundación para 2013 y planes de gestión del riesgo de inundación para 2015**. Ante todo, la Directiva reclama que los espacios inundables sean respetados en la planificación y sean correctamente delimitados para reducir riesgos.



Como resultado de los trabajos de la citada evaluación preliminar del riesgo de inundación (EPRI), cada estado miembro ha definido **Áreas con Riesgo Potencial Significativo de Inundación (ARPSIs)**, zonas en las que se ha llegado a la conclusión de que existe un riesgo potencial de inundación significativo o bien en las cuales la materialización de tal riesgo pueda considerarse probable, incluyendo el impacto del cambio climático y teniendo en cuenta las circunstancias actuales de ocupación del suelo. Por ejemplo, en la cuenca del Matarraña se han definido tres ARPSIs con riesgo alto significativo A1: Valderrobres, Valdeltormo y Nonaspe.

Para determinar y zonificar los espacios inundables hay que realizar un estudio científico-técnico que debe plasmarse en una **cartografía**. Además de marcar el espacio inundable total en cada tramo fluvial, ¿qué bandas internas o zonas de inundabilidad determinamos?

Nos podemos apoyar en las figuras que han ido apareciendo en la legislación en los últimos años, ya que resultan útiles y sitúan nuestro estudio en la realidad de cara a la gestión, si bien no siempre dichas figuras se adaptan bien a algunos tipos de cursos fluviales. Así, el actualmente denominado Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA) establece en sus estudios y en el Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (SNCZI) la siguiente delimitación general de las áreas inundables en cuatro tipos:

- **Área de inundación muy alta**, la que corresponde a avenida de menos de 10 años de retorno.
- **Área de inundación alta**, la que corresponde a avenidas de entre 10 y 100 años.

- **Área de inundación media-baja**, la que corresponde a avenidas de entre 100 y 500 años.
- **Área inundable máxima o de inundación excepcional**, que englobará las zonas cubiertas por las aguas de avenidas excepcionales con una recurrencia de 500 años o más.

Con esta estructura se cumplen las indicaciones de la Directiva de Inundaciones y se facilita la integración de las cartografías desarrolladas por las Comunidades Autónomas y Protección Civil. La zonificación se realiza con apoyo en la información de las inundaciones ocurridas en el pasado y a las evidencias geomorfológicas, y complementariamente se utilizan modelos hidráulicos, recogiendo todo ello en un manual metodológico que fue publicado por el Ministerio en 2011.

A la zonificación general expuesta es preciso añadir la conveniencia de delimitar también algunas figuras clave de nuestra legislación hidráulica, en general de definición más compleja:

- **El Dominio público hidráulico (DPH), con sus zonas de servidumbre y de policía**. El DPH engloba las áreas cubiertas por las aguas en las máximas crecidas ordinarias, de acuerdo con la Ley de Aguas.
- **La zona de inundación peligrosa (ZIP)**, definida como aquella en la que la velocidad de la corriente en crecida supera 1 m/s, el calado supera 1 m de profundidad o el producto de la velocidad por el calado resulta por encima de 0,5 m²/s.
- **La vía de intenso desagüe (VID)**, que es la sección de cauce y llanura por la circula en crecida la mayor parte del caudal, definiéndose 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.
- **La zona de flujo preferente (ZFP)**, cuyo objeto es preservar la estructura y funcionamiento del sistema fluvial, dotando al cauce del espacio adicional suficiente para permitir su movilidad natural (viene a coincidir con el “territorio fluvial” que reivindicaremos más adelante) así como la laminación de caudales y carga sólida transportada, favoreciendo la amortiguación de las avenidas. Es decir, es una zona en la que las avenidas frecuentes generan formas erosivas y sedimentarias debido a su gran energía. La zona de flujo preferente incluirá la vía de intenso desagüe, así como las zonas de elevada peligrosidad para la avenida de 100 años de periodo de retorno.

A las dificultades técnicas para delimitar estos espacios se une **que la inundabilidad no es igual en condiciones naturales que con elementos antrópicos dentro del espacio inundable, elementos que en general producen una mayor elevación de las aguas**. Por todo ello, el empleo

exclusivo de los periodos de retorno a partir de datos hidrológicos para establecer las áreas inundables no es recomendable. Es necesario un complejo trabajo de campo y gabinete, con imágenes aéreas y tecnología LIDAR, que incluya análisis históricos y geomorfológicos, observando todos los condicionantes dinámicos del desbordamiento para diferenciar subunidades de diferente inundabilidad dentro de cada banda esperable.



Desbordamiento de río Huerva en 2003 en Zaragoza. Foto: J. Bellosta.

2.4. ¿Cómo estudiar y cartografiar crecidas y áreas inundables?

Hay innumerables trabajos científicos y técnicos sobre crecidas e inundaciones y emplean múltiples herramientas. Es un tema transversal en el que confluyen muy diversas disciplinas y saberes. De forma básica podríamos sugerir un esquema de análisis que reúna los aspectos clave que hay que tratar para elaborar un informe sobre una crecida concreta o sobre una situación de riesgo de inundación.

Esquema de análisis de un evento extremo ya acontecido

- Denominación y tipología (crecida, inundación...)
- Localización (cartografía)
- Génesis del proceso natural
- Factores ambientales y humanos que han intervenido en el proceso (desencadenantes, intensificadores, atenuantes)
- Análisis de sinergias con otros procesos paralelos
- Descripción del desarrollo espacio-temporal del proceso: caudales, hidrogramas...
- Diagnóstico de la intensidad y magnitud del proceso
- Evaluación de su carácter extremo: frecuencia y periodo de retorno
- Descripción, valoración y cartografía de las consecuencias del evento
- Valoración final del evento en relación con el grado de riesgo y comparación con otros casos
- Evaluación del funcionamiento de medidas de mitigación y de gestión

Esquema de trabajo de una situación de riesgo

- Denominación y tipología del riesgo
- Antecedentes históricos
- Caracterización ambiental del área afectable y confección de un SIG territorial
- Identificación de los peligros naturales que pueden afectar al territorio analizando sus características, frecuencia, periodos de retorno, estacionalidad, etc.
- Génesis y factores de cada peligro y definición de posibles sinergias entre peligros.
- Análisis de la exposición y de la vulnerabilidad
- Valoración inicial del grado de riesgo
- Delimitación del territorio en riesgo y cartografía de peligrosidad y riesgo.
- Estudio de la percepción del riesgo en la población
- Análisis de medidas de mitigación existentes y en su caso propuesta de nuevas medidas
- Conclusiones y recomendaciones
- Incorporación de resultados a los documentos de ordenación territorial.

En la misma línea, en el artículo 6 del Real Decreto 903/2010, de 9 de julio, de evaluación y gestión de riesgos de inundación se establece cómo realizar los informes de evaluación preliminar del riesgo de inundación que exigía para 2011 la Directiva 2007/60/CE:

Contenido mínimo de la evaluación preliminar del riesgo de inundación:

- a) Mapas de la demarcación hidrográfica donde se representen los límites de las cuencas o subcuencas hidrográficas y, cuando existan, las zonas costeras, mostrando la topografía y los usos del suelo.
- b) Descripción de las inundaciones ocurridas en el pasado que hayan tenido impactos negativos significativos para la salud humana, el medio ambiente, el patrimonio cultural, la actividad económica y las infraestructuras asociadas a las inundaciones que tengan una probabilidad significativa de volver a producirse, con indicación de su extensión y de las vías de evacuación de dichas inundaciones, y evaluación de las repercusiones negativas que hayan provocado.
- c) Descripción de las inundaciones de importancia ocurridas en el pasado cuando puedan preverse consecuencias adversas de futuros acontecimientos similares.
- d) En aquellos casos en que la información disponible sobre inundaciones ocurridas en el pasado no sea suficiente para determinar las zonas sometidas a un riesgo potencial de inundación significativo, se incluirá una evaluación de las consecuencias negativas potenciales de las futuras inundaciones teniendo en cuenta, siempre que sea posible,

factores como la topografía, la localización de los cursos de agua y sus características hidrológicas y geomorfológicas generales, incluidas las llanuras aluviales como zonas de retención naturales, la eficacia de las infraestructuras artificiales existentes de protección contra las inundaciones, y, la localización de las zonas pobladas, y de las zonas de actividad económica. Asimismo, se tendrá en cuenta el panorama de evolución a largo plazo, tomando en consideración las posibles repercusiones del cambio climático en la incidencia de las inundaciones a partir de la información suministrada por las Administraciones competentes en la materia.

e) En el caso de las inundaciones causadas por las aguas costeras y de transición, se tendrán en cuenta también la batimetría de la franja marítima costera, los procesos erosivos de la zona y la tendencia en el ascenso del nivel medio del mar y otros efectos en la dinámica costera por efecto del cambio climático.

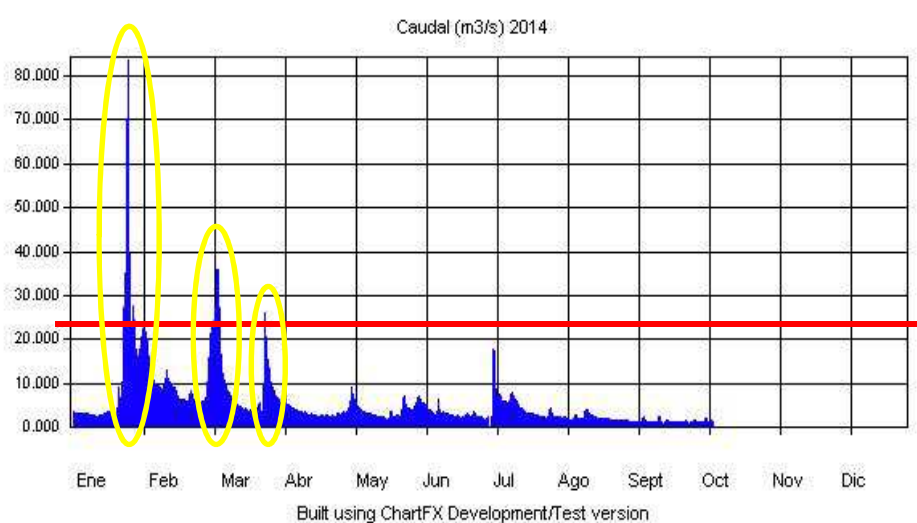
A partir de estos esquemas generales, se procede a continuación a exponer brevemente algunos aspectos técnicos fundamentales en el estudio y cartografía de crecidas e inundaciones.

2.4.1. Identificar crecidas

Tanto para caracterizar las crecidas de un río como para analizar de forma concreta una de ellas y valorarla en comparación con sus antecedentes, es necesario, si el río cuenta con estaciones de aforo, trabajar en primer lugar con las **series de datos hidrológicos diarios**. La obtención de estos datos es gratuita en la web del Ministerio de Medio Ambiente (actualmente MAGRAMA), aunque en estos datos oficiales suelen faltar los correspondientes a los últimos tres años. Para contar con datos recientes se puede recurrir a la información de las redes SAIH, que no han sido depuradas ni confirmadas. Otras administraciones, como las Agencias Vasca (URA) y Catalana (ACA) del Agua o la Diputación Foral de Gipuzkoa, cuentan también con sus propias estaciones de aforo, cuyos datos también son descargables en la web.

Una vez descargados todos los datos diarios de caudal es preciso identificar las crecidas, y para ello habrá que **seleccionar un umbral**. Se suele fijar el umbral en una cifra teórica resultante de multiplicar por 3, por 5 ó por 10, el caudal medio anual. También puede fijarse el caudal de desbordamiento (que puede estimarse como se presenta en el apartado 2.4.3) y seleccionar todas las crecidas que estén por encima de él.

Como ejemplo, vamos a seleccionar las crecidas del año 2014 que multiplican por 5 el caudal medio anual del río Leitzaran en la estación de aforos C8Z1 (Andoain) de la Diputación Foral de Gipuzkoa. La superficie de cuenca es de 110 km². Hay datos desde el año 1994 y el caudal medio es de 4,63 m³/s, por lo que al multiplicarlo por 5 resulta un umbral de crecida de 23,15 m³/s. Si colocamos este umbral (línea roja) sobre



el hidrograma del año 2014 podemos observar que en este año hasta el mes de octubre ha habido 3 crecidas (marcadas en amarillo) que han superado el umbral, de las cuales destaca la registrada en enero. Una pequeña punta a finales de julio se quedó cerca del umbral pero no lo alcanzó.

Para la identificación de crecidas se emplean también **documentos históricos**, obtenidos en archivos y hemerotecas, que suelen carecer de valores cuantitativos de caudal. En el caso de ramblas, barrancos y ríos no aforados la información es mínima y puede recurrirse a **encuestas y entrevistas** en las localidades próximas o afectadas, confiando en que exista memoria de los acontecimientos a falta de documentos.

2.4.2. Observaciones geomorfológicas de campo

La observación y el muestreo geomorfológico en campo aportan una información abundante y fundamental sobre las crecidas e inundaciones ocurridas en el pasado más o menos reciente. Estamos ante uno de los campos más importantes de la geomorfología aplicada. La utilidad de estas metodologías de análisis es cada vez más reconocida. Incluso en las modificaciones recientes de la Ley de Aguas se destaca la importancia de las observaciones geomorfológicas en campo para determinar y delimitar el Dominio Público Hidráulico o la Zona de Flujo Preferente. **Las evidencias geomorfológicas de la dinámica fluvial se observan fundamentalmente en campo, siempre con el apoyo de fotografías aéreas históricas y actuales que permitirán identificar migraciones del cauce y tendencias generales en el trazado del mismo.**

La utilidad de la geomorfología, por tanto, no se centra solo en la **identificación de evidencias pasadas** que permitan valorar cómo fue una determinada crecida, qué caudal pudo alcanzar y hasta dónde llegó la inundación, sino que también servirá para **definir con bastante precisión cuál será el trabajo del río en las siguientes crecidas**, lo cual es fundamental en la previsión.

Las observaciones geomorfológicas en campo deben atender a los siguientes elementos y procesos:

- **Identificación de los límites del cauce o situación bankfull.** Siempre es útil comenzar el trabajo de campo por la identificación de lo que es el cauce menor y lo que es llanura de inundación, comprobando en las zonas de observación y muestreo dónde se encuentra el límite entre ambos. Ese límite, también llamado nivel *bankfull* (orilla llena) del cauce menor es la línea que une la parte más alta de cada una de las orillas, es decir, el umbral de desbordamiento. Normalmente este nivel está bien marcado por un cambio en la pendiente de cada orilla, ya que ha sido modelado o labrado por las crecidas más frecuentes del sistema fluvial. Pero la determinación es problemática en algunos casos y hay que recurrir entonces a la observación de la antigüedad de los sedimentos depositados o a la presencia de vegetación permanente.



Ese límite, también llamado nivel *bankfull* (orilla llena) del cauce menor es la línea que une la parte más alta de cada una de las orillas, es decir, el umbral de desbordamiento. Normalmente este nivel está bien marcado por un cambio en la pendiente de cada orilla, ya que ha sido modelado o labrado por las crecidas más frecuentes del sistema fluvial. Pero la determinación es problemática en algunos casos y hay que recurrir entonces a la observación de la antigüedad de los sedimentos depositados o a la presencia de vegetación permanente.



Marcando el nivel bankfull en el río Ena (izquierda) y en el río Osia (arriba, foto de Elena Díaz).

- **Evidencias, en general efímeras, de crecidas recientes, antiguas o reiteradas:**

- Marcas y daños en árboles.** En los troncos se distingue muy bien hasta dónde subió el agua, al quedar adheridos sedimentos finos, y esas referencias se conservan durante semanas e incluso meses. También mediante técnicas de dendrocronología se pueden datar crecidas, identificando los anillos de crecimiento de árboles dañados o impactados en el proceso de crecida.

- Madera muerta y flotantes,** atrapados en orillas y en la propia vegetación de ribera, permiten observar qué altura alcanzó la corriente durante la última crecida.

- Sedimentos.** La renovación fácilmente observables tras una crecida, la distribución sobre el espacio fluvial y la clasificación por tamaños ayuda mucho a caracterizar cuáles pudieron ser los calados y velocidades aproximados en cada área, pudiéndose definir líneas de flujo.

- Marcas en estructuras.** Simplemente marcas de humedad y de adhesión de materiales finos transportados por la crecida, permiten identificar con facilidad horas o días después el nivel que alcanzó la corriente o el agua desbordada. Si en su momento se aprovechó esta observación para instalar una señal permanente de recuerdo de la crecida el resultado es de gran utilidad para evaluar el volumen de crecidas históricas. En numerosas localidades de todo el mundo se cuenta con estos registros. En el Ebro destaca la escala de marcas recogida en la fachada de la iglesia de Xerta, cerca de Tortosa.

- **Identificación de líneas de flujo,** tanto las principales como las secundarias y de desbordamiento. Se reconocen por la colocación de los sedimentos y la presencia de pasillos y canales de crecida.

- **Previsión de áreas de depósito y de erosión en eventos futuros,** identificadas a partir de las áreas actuales, de las líneas de flujo, de las morfologías generales comprobadas en ortofoto y de otros posibles indicios. Con ello se podrá predecir qué áreas serán más activas en próximas crecidas, áreas de peligrosidad ante posibles actividades humanas.

- **Identificación de los límites externos de la inundación,** mediante las evidencias sedimentarias y vegetales señaladas.

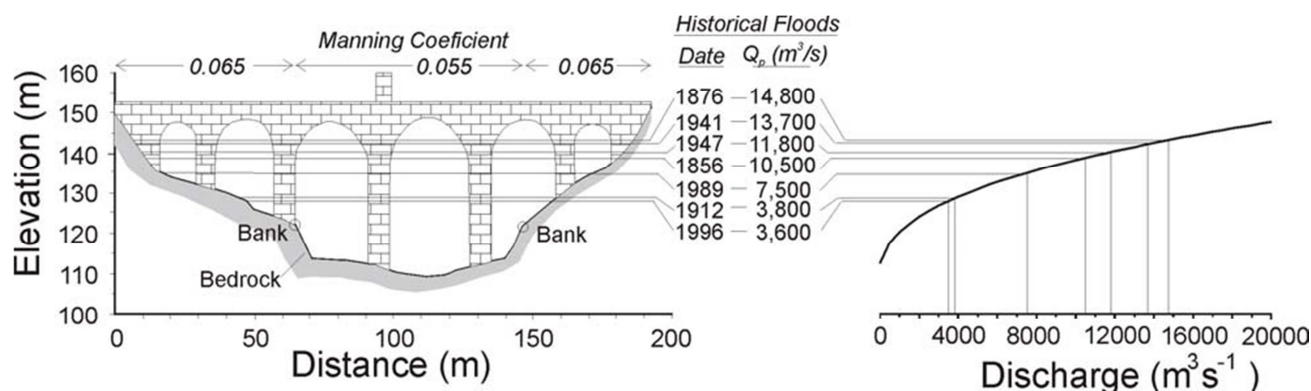


Escala con la altura de las crecidas del Ebro en la iglesia de Xerta

Lógicamente es necesario contrastar todas las evidencias encontradas con datos hidrológicos, meteorológicos, de archivo, de hemeroteca, etc., que confirmen el momento del evento pasado e informen de la crecida y de su génesis. De cara al futuro toda esta información junto con la obtenida en campo será fundamental para la cartografía de peligrosidad y de riesgo y para la previsión y prevención.



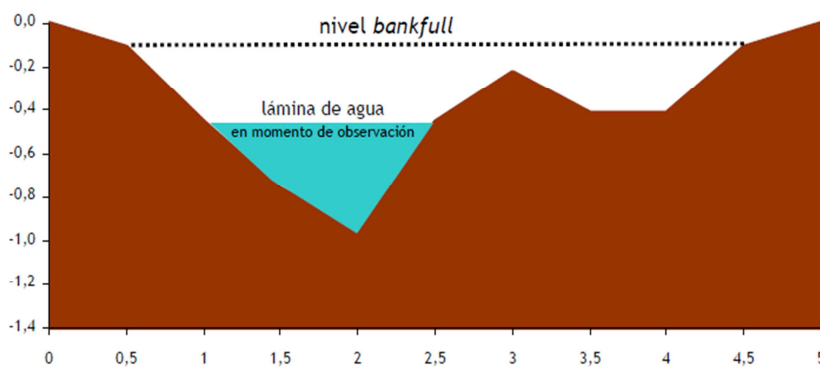
Los registros o señales de crecidas encontrados en el puente romano de Alcántara (Cáceres) han permitido calcular los caudales que circularon en las principales crecidas históricas del río Tago (en Benito et al., 2003 y Brázdil et al., 2006). Llama la atención el enorme caudal de $14.800 \text{ m}^3/\text{s}$ que ha podido estimarse para la crecida de 1876. Aquella década de los años 70 del siglo XIX destacó por impresionantes crecidas en la Península Ibérica y en Francia (1871 y 1874 en el Ebro, 1875 en el Garona, etc.), relacionándose con el final de la Pequeña Edad del Hielo.



2.4.3. Estimación de caudales de crecida

Es muy útil estimar caudales de crecida a partir de observaciones geomorfológicas de campo, en lo que se conoce como **método geomorfológico o método pendiente-área**, cuando no contamos con datos de aforo o han fallado las mediciones convencionales. Para ello es necesario realizar una sección transversal del cauce en el punto donde queramos calcular ese valor. Hay dos utilidades principales:

- Cálculo del caudal bankfull.** Como hemos visto, los cauces ajustan su forma para poder conducir las crecidas modestas u ordinarias, es decir, las que tienen lugar todos o casi todos los años, entre sus orillas, y el nivel bankfull nos marca el límite del cauce menor. Calcular el caudal bankfull, es decir, el caudal que cabe en el cauce menor completo, es fundamental en la caracterización de cada tramo de río, permitiéndonos conocer el caudal de las crecidas ordinarias o frecuentes de ese río. Desde una perspectiva geomorfológica el caudal bankfull es un parámetro de máximo interés, ya que se considera el caudal dominante por su capacidad geomórfica o de modificación de las morfologías fluviales, siendo el que más trabajo realiza en la movilización de la carga de fondo. Es un caudal sin disipación por desbordamiento, por lo que es el proceso de máxima velocidad y energía de la corriente. El periodo de retorno medio del caudal bankfull es de 1,5 años, pero en ríos que circulan sobre terreno permeable esta recurrencia supera los 2 años, y hasta 6 años en ramblas, mientras en cauces impermeables puede oscilar entre uno y ocho meses.



- Cálculo del caudal de una crecida pasada.** Es especialmente útil en pequeños cursos que carecen de datos de aforo. Requiere una observación detallada en el campo para determinar la altura máxima del agua mediante los restos y marcas que se comentaron en el apartado precedente.

Para aplicar el método, una vez estimada la altura máxima de la corriente se obtiene la sección y mediante la fórmula de Manning se calcula el caudal de crecida. Basándose parcialmente en la ecuación que Chézy había definido en 1775, $[V = Cr \sqrt{(R S)}]$, el ingeniero irlandés Robert Manning (1816–1897) desarrolló en 1891 su fórmula de la velocidad (V , en m/s) en función del radio

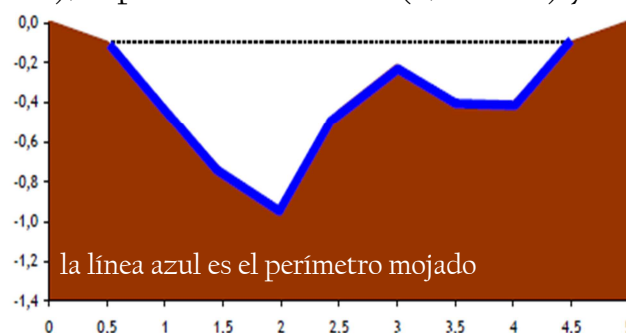
hidráulico (R = sección/perímetro de mojado, en metros), la pendiente del cauce (S , en m/m) y el coeficiente de rugosidad (n):

$$V = (R^{2/3} S^{1/2}) / n$$

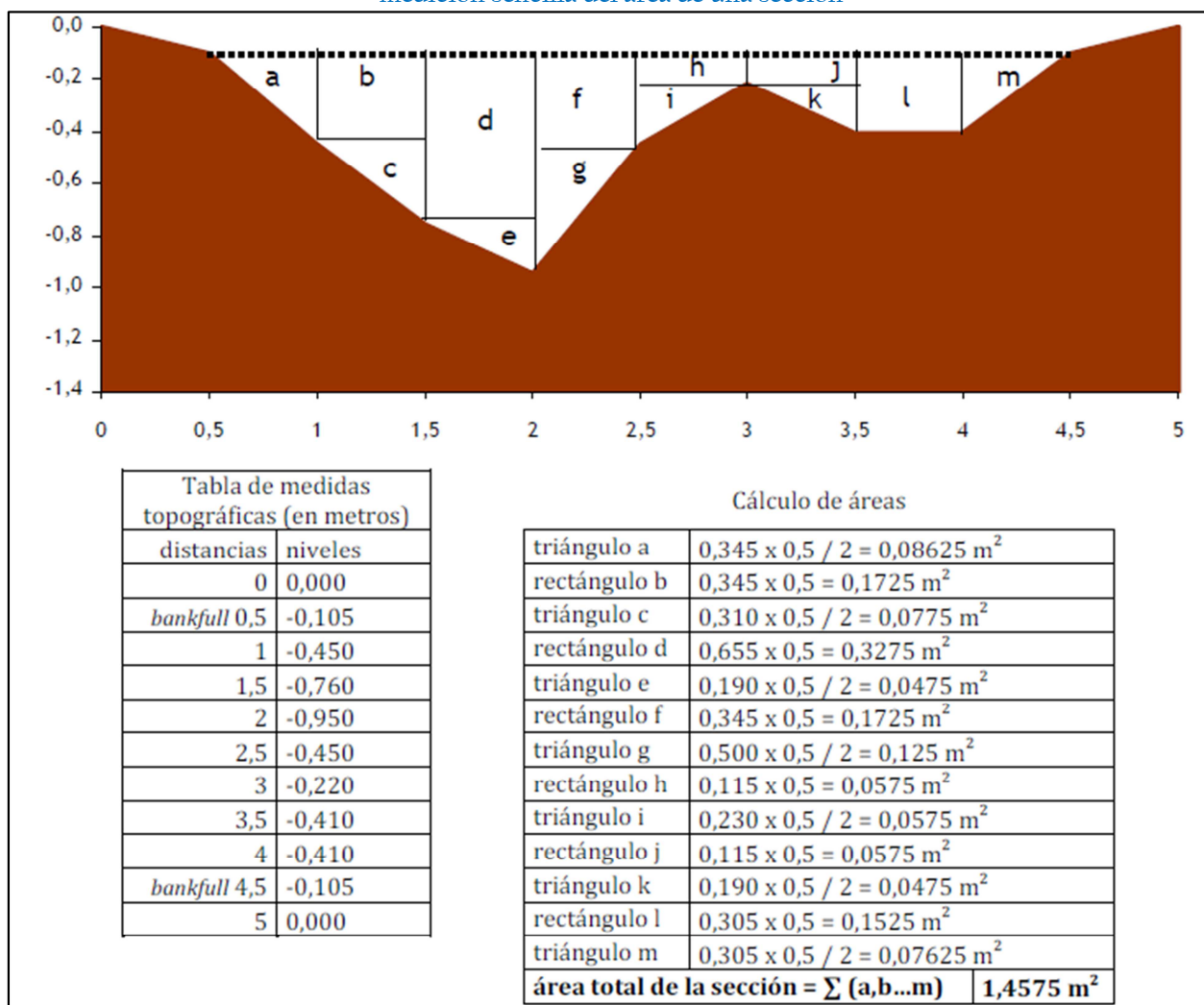
Así pues, el caudal de crecida (en m³/s) a partir de la fórmula de Manning será:

$$Q = A [(R^{2/3} S^{1/2}) / n]$$

siendo A el área de la sección en m².



medición sencilla del área de una sección



Lo más complicado de obtener para la fórmula es el coeficiente de rugosidad, que diversos autores han tratado de estimar. Por ejemplo Strickler la hace depender de la granulometría: $n = 0,0151 D_{50}^{1/6}$, siendo D_{50} el tamaño medio de la partícula en mm, aunque el resultado se refiere a la rugosidad de grano, pero no tiene en cuenta las formas fluviales del cauce ni la vegetación que puede haberlo colonizado.

Uno de los métodos más empleados es el de las tablas de Cowan, válidas para cauces relativamente pequeños. Cowan (1956) concibió el cálculo del coeficiente de rugosidad como la suma de un polinomio en el que se estimaban todos los efectos perturbadores asociados a la morfología del canal: $n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) m_5$

n_0 (material del lecho):	material fino	0,02
	arena gruesa y gravilla	0,025
	gravas	0,028
n_1 (grado irregularidad superficie):	débil	0,005
	mediana	0,01
	fuerte	0,02
n_2 (variaciones forma secc. transv.):	graduales	0
	alternancia ocasional	0,005
	alternancia frecuente	0,01–0,015
n_3 (efecto obstrucción: puentes...)	despreciable	0
	débil	0,01–0,015
	apreciable	0,02–0,03
	fuerte	0,04–0,06
n_4 (presencia de vegetación)	débil	0,005–0,01
	media	0,01–0,025
	importante	0,025–0,05
	muy importante	0,05–0,1
m_5 (grado de sinuosidad del canal)	débil	1
	apreciable	1,15
	fuerte	1,3

También hay que tener en cuenta que el coeficiente de rugosidad de Manning varía, en el mismo cauce, en función del caudal: disminuye conforme el caudal aumenta. Cuanto más grandes son las dimensiones de un curso fluvial más baja es la rugosidad. Suele variar generalmente de 0,025 a 0,25, pero se han dado valores de hasta 0,4 en pequeños regatos con importante vegetación acuática.

La fórmula de Manning es aplicable a flujo estacional. Cuando el flujo pasa de tranquilo a rápido o viceversa (saltos), entonces el caudal circulante no debe estimarse con Manning sino con una fórmula derivada de la ecuación de Froude que es independiente de la rugosidad del lecho: $Q = \sqrt{(A^3 g / B)}$, siendo A el área de la sección, B la anchura de la lámina de agua en superficie y g la aceleración debida a la gravedad.

Hay otras posibilidades de estimar el caudal de crecida sin necesidad de realizar trabajo de campo. Una sencilla y de resultados aceptables, si se cuenta con buenos datos pluviométricos, es el empleo del **método racional con la corrección de Témez**. El método racional, propuesto por Mulvaney en 1850, es una fórmula sencilla, “de cajón”, muy empleada para calcular la punta máxima probable de crecida, aunque teóricamente sólo válida para superficies de cuenca menores de 50 km² y tiempos de concentración inferiores a 6 horas. Esta aproximación parte de la intensidad de la precipitación, uniformemente considerada, y de las características de la cuenca, representadas en el coeficiente de escorrentía, de manera que la descarga hídrica se obtiene según la fórmula $Q = C I S / 3,6$ en la que Q es el caudal máximo instantáneo o pico de crecida (m³/s), C el coeficiente de escorrentía, I la intensidad de la precipitación durante el tiempo de concentración de la cuenca (mm/h) y S el área de la cuenca (km²). La división entre 3,6 se realiza para ajustar o compensar las distintas unidades en que se expresa cada parámetro. Por ejemplo, García Ruiz *et al.* (1996) emplearon el método racional para calcular el pico de crecida del barranco de Arás en la catástrofe del camping de Biescas. Para un coeficiente de escorrentía de 0,8, una intensidad de precipitación de 125 mm/h y una superficie de cuenca de 18,06 km², el caudal resultante fue: $Q = 0,8 \cdot 125 \cdot 18,06 / 3,6 = 501,67 \text{ m}^3/\text{s}$.

Témez (1991) introdujo modificaciones en la fórmula para poder considerar la lluvia no uniforme y ampliar la aplicación del método a cuencas de hasta 3.000 km² y tiempos de concentración entre 0,25 y 24 horas: $Q = C I S K / 3,6$, en la que $K = 1 + [Tc 1,25 / (Tc 1,25 + 14)]$, siendo Tc el tiempo de concentración calculado según la fórmula que ya vimos $Tc = 0,3 (L / J^{0,25})^{0,76}$, en la que L es la longitud del cauce principal en km y J su pendiente media en m/m. Aplicando la corrección de Témez al caso del barranco de Arás, con un Tc de 40 minutos (0,667 horas), por lo que $K = 1,041$, un coeficiente de escorrentía de 0,8, una intensidad de precipitación de 125 mm/h y superficie de cuenca de 18,06 km², el caudal resulta $Q = 0,8 \cdot 125 \cdot 18,06 \cdot 1,041 / 3,6 = 522,37 \text{ m}^3/\text{s}$.

Hay otras fórmulas y aproximaciones simples que estiman caudales de crecida característicos para una cuenca. Por ejemplo, hay una fórmula propuesta por el CEDEX para estimar el caudal bankfull en m³/s en estaciones de aforo a partir de los caudales máximos instantáneos anuales registrados: $Q_b = Q_m (0,7 + 0,6 C_v)$, en la que Q_b es el caudal bankfull, Q_m el caudal medio de los máximos instantáneos anuales de la serie y C_v el coeficiente de variación (la desviación dividida entre la media) de dichos máximos instantáneos anuales. Como ejemplo, el río Ebro en Zaragoza (serie 1945-2010) contaría con un caudal bankfull $Q_b = 1859,25 [0,7 + 0,6 (684,96/1859,25)] = 1712,45 \text{ m}^3/\text{s}$, lo cual resulta muy próximo al umbral de desbordamiento real en la ciudad y sus alrededores.

Fórmulas aún más sencillas y de poca fiabilidad relacionan el caudal simplemente con la superficie de cuenca. Y a partir del tamaño de los sedimentos movilizados también se puede estimar el caudal o algún parámetro asociado de una crecida. Por ejemplo, en cauces torrenciales con procesos de crecidas relámpago puede emplearse para calcular la velocidad de circulación (en m/s) de éstas la fórmula de John E. Costa (1983): $V = 0,18 D^{0,487}$, siendo D la longitud media en mm del lado menor de los 5 mayores bloques encontrados en el sitio.

2.4.4. Comparar crecidas

Las crecidas pueden diferenciarse por su origen, estacionalidad, volumen, cantidad de caudal sólido, velocidad, forma del hidrograma, etc. Es de máximo interés para el análisis de eventos extremos y para la gestión de riesgos comparar crecidas de un mismo sistema fluvial y entre los diferentes cursos de una cuenca.

El parámetro que mejor define la crecida es el caudal máximo que alcanza, el **caudal punta**, que se manifiesta en los datos de aforo en forma de **caudal máximo instantáneo**, y se denomina así porque dura solo un segundo. Se expresa en m³/s y se obtiene en los limnigrafos a partir de la altura el agua. Un problema habitual es la ruptura o insuficiencia de las estaciones de aforo en crecidas extraordinarias. Realmente no es un dato del todo fiable. Por ejemplo en la crecida del Ara en Boltaña en diciembre de 1997 los 1.551 m³/s se estimaron porque el agua llegó a las barandillas de la estación de aforo, superada la escala.

Para comparar crecidas del mismo río basta con identificar los caudales máximos instantáneos de cada una de ellas. Pero para comparar crecidas de diferentes cursos fluviales se trabaja con coeficientes que eliminan el factor tamaño de cuenca, de manera que podamos hacernos una mejor idea de si las crecidas de uno u otro son más o menos violentas. Suelen emplearse dos coeficientes:

- Caudal específico o relativo de la crecida, que se expresa en l/s/km²
- Coeficiente A o índice de magnitud de crecida de Myer-Coutagne: $A = Q / \sqrt{S}$, siendo Q el caudal máximo instantáneo de la crecida (en m³/s) y S el área de la cuenca en km².

Como ejemplo de cálculo podemos comparar la importancia relativa del caudal de crecidas muy diferentes entre sí en cursos de agua distintos, en concreto algunos de los que se tratarán en el apartado 4.1:

crecida	caudal registrado	caudal específico	coeficiente A
Ebro 1961 en Zaragoza	4.130 m ³ /s	102 l/s/km ²	20,54
Cinca 1982 en Fraga	4.195 m ³ /s	436 l/s/km ²	42,79
Arás 1996 en Biescas	500 m ³ /s	27.778 l/s/km ²	117,85
Ara 1997 en Boltaña	832 m ³ /s	1.329 l/s/km ²	33,25
Matarraña 2000 en Beceite	334 m ³ /s	6.961 l/s/km ²	48,21
Ebro 2003 en Zaragoza	2.832 m ³ /s	70 l/s/km ²	14,08
Aragón 2012 en Jaca	635 m ³ /s	2.668 l/s/km ²	41,16
Ésera 2013 en Eriste	305 m ³ /s	944 l/s/km ²	16,97

Se confirma así la gran importancia relativa de la crecida del barranco de Arás, seguida de la crecida del Matarraña de octubre de 2000.

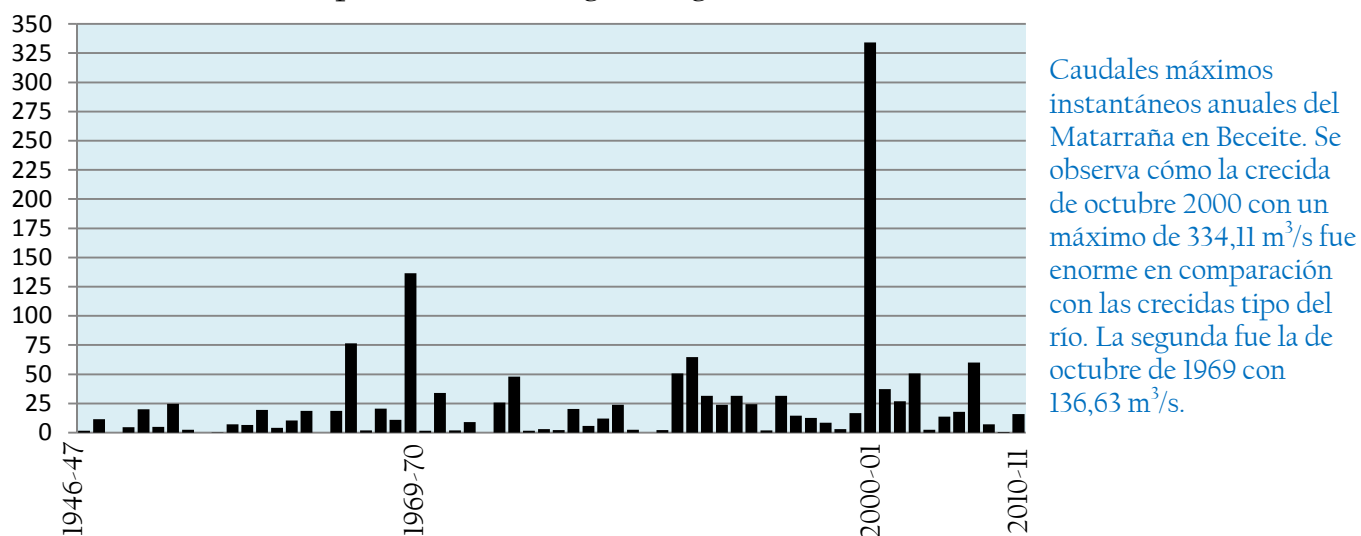
Otra aportación útil para comparar crecidas y para establecer niveles de riesgo consiste simplemente en obtener la **ratio** Q_c / Q_b entre el caudal máximo de la crecida y el caudal bankfull o umbral de desbordamiento en ese punto. Para caracterizar un tramo de río en lugar de una crecida concreta, puede emplearse el **cociente** Q_t / Q_b en el que Q_t es el caudal correspondiente a un periodo de retorno concreto (generalmente se utiliza el de 500 años). Cuanto más alto sea el cociente mayor peligrosidad por desbordamiento.

2.4.5. Cálculo de periodos de retorno

Como se ha comentado, la peligrosidad de un determinado tipo de evento extremo se mide preferentemente en función de su probabilidad de ocurrencia. Esta probabilidad puede expresarse en forma de frecuencia por medio del periodo de retorno, que puede definirse como el promedio del lapso de tiempo teórico que ha de transcurrir entre dos repeticiones del mismo evento. Se profundizará en este concepto en el apartado 3.4.

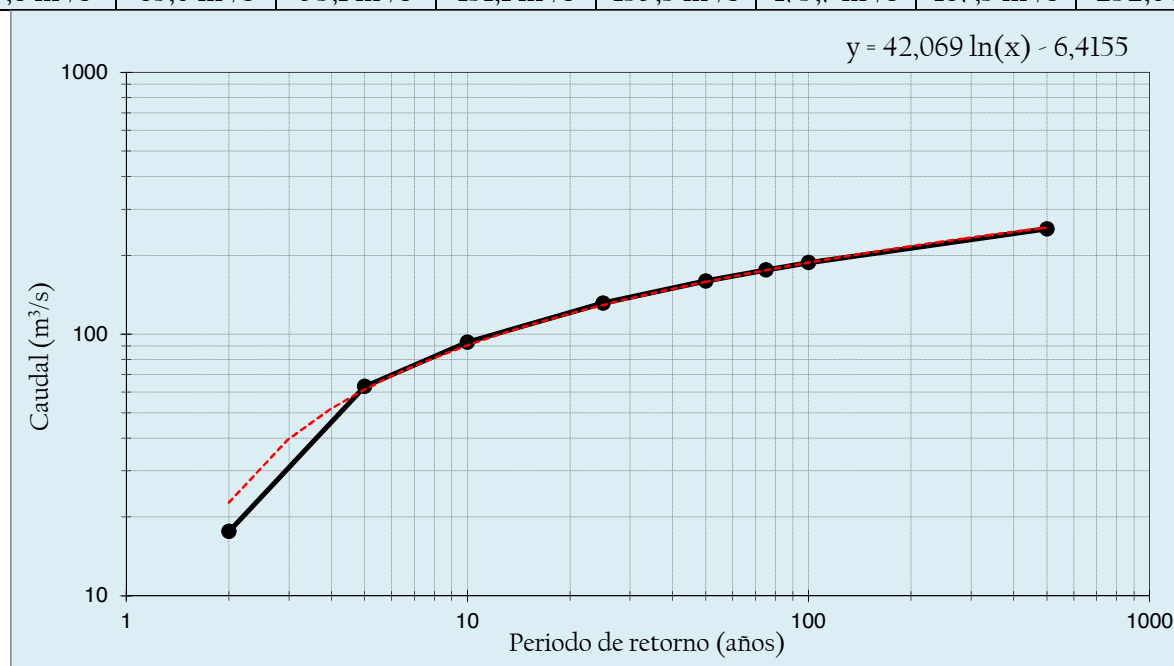
Para calcular periodos de retorno de caudales extremos en un río es necesario contar con series de datos de aforo. Existen diferentes metodologías que pueden emplear series de máximos o bien series de excedencias o de duración parcial. Un método sencillo y tradicionalmente muy empleado es el de **Gumbel**, que utiliza series de máximos. Su distribución calcula la probabilidad (P) de que un valor extremo sea inferior a un cierto valor (x). Así, $1-p$ es la probabilidad de que un valor sea superior a x, mientras $T_x = 1/(1-p)$ es el número de años necesario para que el valor máximo alcanzado iguale o supere el valor x una sola vez. T_x es el periodo de retorno del valor x. La fórmula para calcular el periodo de retorno (t) de un valor (x) es: $X_t = M + (S_x k)$, siendo M la media de los valores extremos de la serie, S_x la desviación típica de dichos valores extremos, n el número de valores extremos de la serie y k una variable cuyo valor es $k = (y - Y_n) / S_n$. Los valores de y, Y_n y S_n están ya tabulados para varios periodos de retorno. En suma, basta obtener la media y la desviación típica de los valores extremos, en nuestro caso el caudal máximo instantáneo anual de cada año de la serie, para calcular los valores esperados. Hay programas sencillos en internet para calcular por el método de Gumbel. También la aplicación CHAC (Cálculo Hidrometeorológico de Aportaciones y Crecidas), que va desarrollando el Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX (Ministerio de Fomento) y es descargable desde <http://hercules.cedex.es/Chac/>, permite trabajar con este y otros métodos y obtener los periodos de retorno.

Como ejemplo de cálculo, obtenemos los caudales para diferentes periodos de retorno para el río Matarraña en Beceite. Se toma la serie de máximos instantáneos anuales en m^3/s , disponible desde 1946–47 hasta 2010–11, representada en la siguiente gráfica.



De la aplicación del cálculo de Gumbel resultan las siguientes tabla de caudales, ecuación y gráfica con la línea de ajuste:

2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	75 años	100 años	500 años
$17,6 \text{ m}^3/\text{s}$	$63,0 \text{ m}^3/\text{s}$	$93,1 \text{ m}^3/\text{s}$	$131,1 \text{ m}^3/\text{s}$	$159,3 \text{ m}^3/\text{s}$	$175,7 \text{ m}^3/\text{s}$	$187,3 \text{ m}^3/\text{s}$	$252,0 \text{ m}^3/\text{s}$



La crecida de octubre de 2000 fue tan extraordinaria que de acuerdo con el cálculo se le puede asignar un periodo de retorno de 2.415 años.

2.4.6. Fotografías aéreas y ortofotos

En los estudios de peligrosidad y riesgos es una tarea importante comprobar cómo ha evolucionado el área afectada a lo largo de las últimas décadas, lo que permitirá, por ejemplo, determinar cuáles eran las dimensiones de un cauce antes de un proceso de antropización o en qué

medida ha avanzado la urbanización y con ello la exposición sobre una zona. Una fotografía aérea muy empleada, ya que cubre todo el territorio español y cuenta con una muy buena calidad, es la de 1956, conocida como “vuelo americano”. Hay alguna anterior, como un primer vuelo general realizado en 1946. Posteriormente se puede contar con fotografías de vuelos interministeriales de los años 80 y las del SIG oleícola de 1997. Ya en el siglo XXI los productos dejan de ser fotos aéreas verticales convencionales y son ya ortofotos.

Para que podamos integrar las fotografías aéreas en nuestro trabajo de análisis y en la cartografía es necesario escanear las imágenes y posteriormente **georreferenciarlas**, es decir, cuadrarlas, reeditarlas a partir de la comprobación de coordenadas de un conjunto de puntos de referencia (unos 6 por fotograma) reconocibles en 1956 y en la ortofoto actual. Si se dispone de más medios se puede proceder a un paso más avanzado, la ortorrectificación, utilizando un modelo digital del terreno (MDT) y un software específico.

Una **ortofoto** es una imagen aérea obtenida a partir de un vuelo fotogramétrico y posteriormente procesada mediante aerotriangulación, generación de un modelo digital de elevaciones y ortoproyección. El resultado final equivale a un mapa, de manera que longitudes y superficies son totalmente fiables. Se pueden utilizar ortofotos encargadas específicamente para la realización de los trabajos, pero en la actualidad los organismos oficiales realizan vuelos frecuentes, por lo que se puede obtener imágenes actualizadas recientemente. El Instituto Geográfico Nacional (IGN), en consenso con las comunidades autónomas, elabora las ortofotos, que pueden observarse en visores en internet y descargarse.

Si se desea una imagen ortofotográfica de un día concreto, por ejemplo el día de máxima inundación de una crecida, o unos días después para observar y cartografiar los efectos, hay que recurrir a imágenes de satélite, cuya calidad será en general inferior y no son gratuitas.

2.4.7. Modelos del terreno e hidráulicos

En primer lugar, señalar que existen numerosos métodos de **modelación hidrológica** destinados a estudiar la transformación lluvia-escorrentía. Por su aplicación en los últimos años puede mencionarse el modelo **TETIS** (Universidad Politécnica de Valencia), que genera hidrogramas de crecida.

Para poder realizar cartografía es necesario como base disponer de un **modelo digital del terreno (MDT)**, cuya resolución y precisión dependerá del tamaño del área de estudio. El Instituto Geográfico Nacional (IGN) cuenta con modelos digitales con diferentes tamaños de celda, pero para la precisión que requieren los mapas de peligrosidad y riesgos se hace imprescindible emplear un MDT generado mediante la **tecnología LIDAR** (*Light Detection and Ranging*). El LIDAR es un sistema de detección remota basado en un sensor láser. Desde un avión se emiten pulsos láser que tardan un determinado tiempo en rebotar en la superficie terrestre y volver al avión. A cada tiempo de respuesta se le asigna una cota topográfica. En superficies sólidas el resultado es perfecto, pero en el agua el rayo láser es absorbido, por lo que no se obtiene información, mientras en vegetación hay dos rebotes, uno desde la copa del árbol y otro desde el suelo. El coste económico del método dependerá del número de pasadas de avión necesarias y la superficie total que haya que cubrir. Puede obtenerse una resolución centimétrica. Desde 2009 el IGN trabaja en un vuelo LIDAR que cubre ya buena parte del territorio estatal con una densidad promedio de 0,5 puntos por metro cuadrado. Para determinar y cartografiar zonas inundables es muy útil esta metodología, aunque

cuenta con el problema ya mencionado de que no refleja en las masas de agua, por lo que habrá que complementar el modelo digital del LIDAR con batimetrías realizadas en campo.

Una vez obtenido el MDT (y revisado con correcciones puntuales y batimetrías), se integrará en la modelización hidráulica.

Complementariamente, se desarrollará un **modelo hidráulico**, en condiciones naturales, sin tener en cuenta el efecto de las infraestructuras de laminación de caudales ubicadas aguas arriba, ni el de las modificaciones antrópicas de cualquier tipo del cauce, asociadas o no con la defensa frente a inundaciones y que será coherente y siempre calibrado con la información histórica y geomorfológica disponible en el tramo de río analizado y con los tramos aguas arriba y abajo.

A partir del modelo se cuantificará el caudal de desbordamiento, que será comparado con los estudios existentes sobre la máxima crecida ordinaria. Del mismo modo, se incluirá una comparación de la cartografía generada con la base de datos del catastro, al objeto de identificar posibles discrepancias.

También la zona de flujo preferente se delimitará mediante el desarrollo de un modelo hidráulico que será coherente con la información histórica y geomorfológica del tramo de río analizado y de los situados aguas arriba y abajo.

Los **modelos hidráulicos unidimensionales y bidimensionales sirven para obtener la extensión de la inundación y el calado y velocidad en cada punto del área inundable**. Los modelos unidimensionales son más sencillos y rápidos de aplicar, pero son solo útiles para fondos de valle estrechos. El más utilizado y libre es el **HEC-RAS** (US Army Corps of Engineers), con su herramienta postproceso HEC-GeoRAS. También destaca el **MIKE-II** (Dinamarca). Los modelos bidimensionales implican mallas, y se hacen necesarios cuando además del flujo longitudinal de arriba abajo son importantes los flujos transversales, como ocurre en valles de llanura con desbordamientos laterales extensos. El más recomendado actualmente es el **IBER**, de simulación de flujo en lámina libre en régimen variable, que incluye entre sus múltiples aplicaciones la simulación de roturas de presas. Es de descarga libre (<http://iberaula.es/modelo-iber/modelo>) Otros modelos bidimensionales recomendables son el **GUAD 2D** (Universidad de Zaragoza) o el **InfoWorks RS** (Wallingford Software). Los modelos deben ser capaces de resolver situaciones de cambio de régimen hidráulico (permanente y variable) y definir las condiciones de contorno internas en zonas con desbordamiento lateral. Deben tener formatos compatibles con **sistemas de información geográfica (SIG)** para importación y exportación de datos e integración de las capas cartográficas. La aplicación de los modelos requiere importante trabajo previo para que los resultados sean buenos: abundantes secciones transversales sobre la totalidad del espacio inundable, polígonos de usos del suelo, tratamiento especial del eje y márgenes del cauce, estimación de pérdidas por fricción, identificación de áreas de almacenamiento, encauzadas, puentes, azudes, motas, etc. Los modelos hidráulicos están en continuo ajuste y mejora, para lo cual se investiga mediante simulaciones de laboratorio sobre modelos a escala.

2.4.8. Cartografía de peligrosidad y de riesgos

A partir de la catástrofe del camping de Biescas (1996), que marcó un hito en el tratamiento de los riesgos naturales en España, se consiguieron varios logros, destacando el desarrollo de los **mapas de riesgos para la prevención**. Por otro lado, la Ley 8/2007 del Suelo (hoy refundida en el texto aprobado por el RDL 2/2008, de 20 de junio) estableció que los desarrollos urbanísticos deban

someterse a una evaluación ambiental previa y a un informe de sostenibilidad, en el que se deberá incluir un mapa de riesgos naturales del ámbito objeto de la ordenación. De esta manera surge en el proceso de planificación una herramienta objetiva, la cartografía de riesgos, que puede facilitar la toma de decisiones a los responsables públicos, en beneficio de la seguridad de los ciudadanos y de sus bienes. Así pues, los mapas de riesgos deben consultarse siempre que vayan a desarrollarse nuevos proyectos urbanísticos en un territorio.

La Directiva 2007/60/CE exigía para 2013 que todos los estados miembros contaran con mapas de peligrosidad y mapas de riesgo de inundación. En el RD 903/2010 se especifican las características generales de dichos mapas, tal como se expone en los siguientes cuadros.

Mapas de peligrosidad por inundación (artículo 8 del RD 903/2010)

1. Para cada demarcación hidrográfica se elaborarán mapas de peligrosidad por inundación para las zonas determinadas con arreglo al artículo 5. Estos mapas contemplarán, al menos, los escenarios siguientes:
 - a) Alta probabilidad de inundación, cuando proceda.
 - b) Probabilidad media de inundación (periodo de retorno mayor o igual a 100 años).
 - c) Baja probabilidad de inundación o escenario de eventos extremos (periodo de retorno igual a 500 años).
2. En las zonas costeras donde exista un nivel adecuado de protección, el mapa de peligrosidad se limitará al escenario de baja probabilidad de inundación.
3. Para cada uno de los escenarios anteriores los mapas deberán contener:
 - a) Extensión previsible de la inundación y calados del agua o nivel de agua, según proceda.
 - b) En aquellos casos en que se considere necesario, se podrá incluir también información adicional relevante como los caudales y/o velocidades máximas alcanzadas por la corriente en la zona inundable.
 - c) En las inundaciones causadas por las aguas costeras y de transición se reflejará el régimen de oleaje y de mareas, así como las zonas sometidas a procesos erosivos y las tendencias en la subida del nivel medio del mar como consecuencia del cambio climático.
4. Adicionalmente, en los mapas de peligrosidad se representará la delimitación de los cauces públicos y de las zonas de servidumbre y policía, la zona de flujo preferente en su caso, la delimitación de la zona de dominio público marítimo-terrestre, la ribera del mar en caso de que difiera de aquella y su zona de servidumbre de protección.

Mapas de riesgo de inundación (artículo 9 del RD 903/2010)

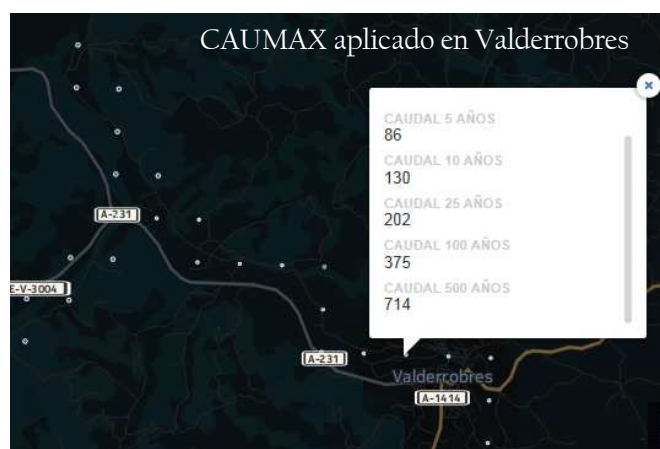
Para cada demarcación hidrográfica se elaborarán mapas de riesgo de inundación para las zonas identificadas en la evaluación preliminar del riesgo. Los mapas de riesgo de inundación incluirán, como mínimo, la información siguiente para cada uno de los escenarios especificados en el artículo anterior:

- a) Número indicativo de habitantes que pueden verse afectados.
- b) Tipo de actividad económica de la zona que puede verse afectada.
- c) Instalaciones industriales a que se refiere el anejo I de la Ley 16/2002, de 1 de julio, de Prevención y Control Integrado de la Contaminación que puedan ocasionar contaminación accidental en caso de inundación así como las estaciones depuradoras de aguas residuales.
- d) Zonas protegidas para la captación de aguas destinadas al consumo humano, masas de agua de uso recreativo y zonas para la protección de hábitats o especies que pueden resultar afectadas.
- e) Cualquier otra información que se considere útil, como la indicación de zonas en las que puedan producirse inundaciones con alto contenido de sedimentos transportados y flujos de derrubios e información sobre otras fuentes importantes de contaminación, pudiendo también analizarse la infraestructura viaria o de otro tipo que pueda verse afectada por la inundación.

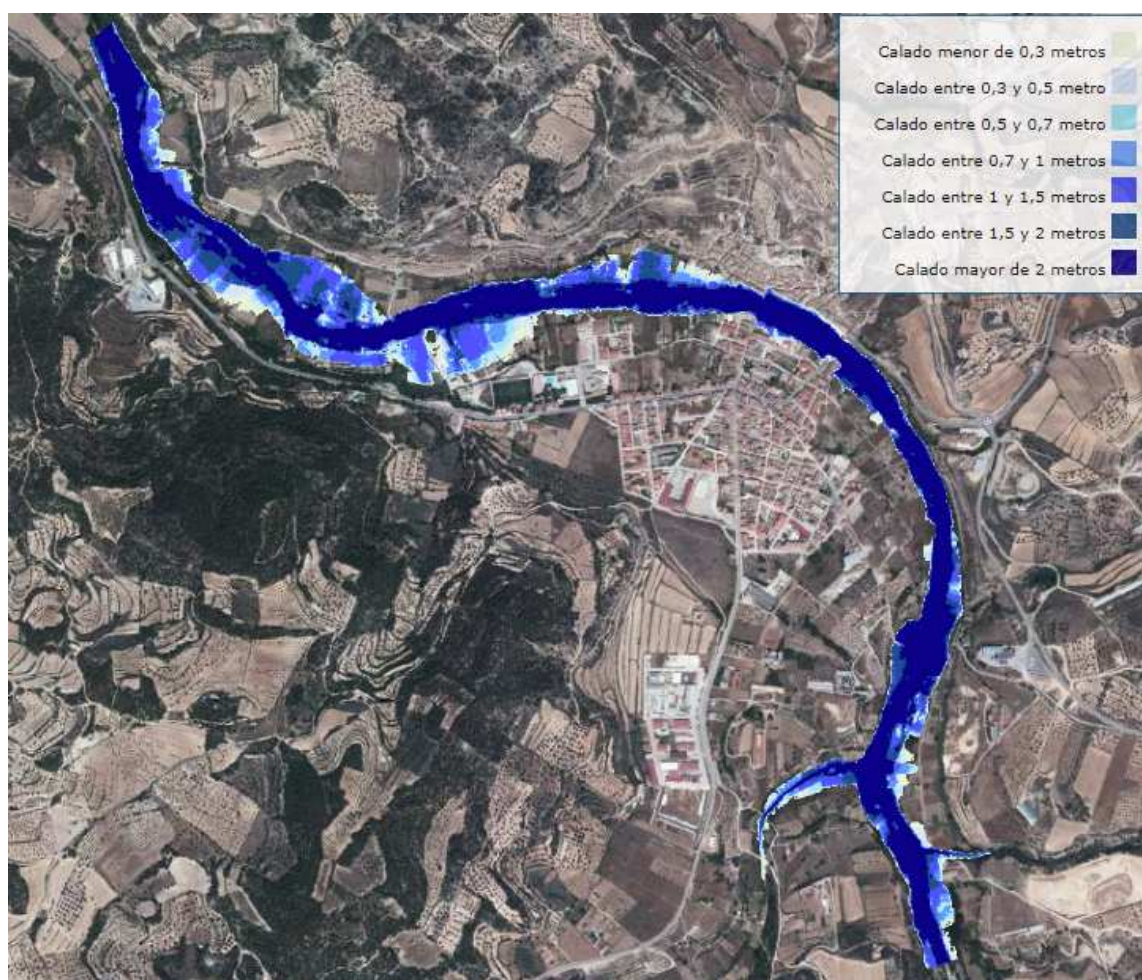
Para cumplir con ello el entonces Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino implantó el **Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (SNCZI)** como “instrumento de apoyo a la gestión del espacio fluvial, la prevención de riesgos, la planificación territorial y la transparencia administrativa”. El eje central del SNCZI es el visor cartográfico de acceso libre (<http://sig.magrama.es/snczi/visor.html?herramienta=DPHZI>) sobre zonas inundables, que permite visualizar los estudios de delimitación del Dominio Público Hidráulico (DPH) y la cartografía de zonas inundables. El visor es útil para las administraciones competentes en la delimitación aproximada del dominio público hidráulico, en la emisión de informes sobre autorizaciones en dicho DPH y zona de policía, en la gestión de avenidas, en el dimensionamiento de obras, en la prevención de daños, en la preservación del estado ecológico, etc. También **informa a planificadores territoriales y empresas promotoras sobre la inundabilidad de cada área y permite a los ciudadanos conocer la peligrosidad de una zona determinada. Se va avanzando en la red fluvial, pero quedan todavía muchos ríos y tramos sin cartografiar.** Por ejemplo, en la cuenca del Matarraña solo se cuenta con esta cartografía para el tramo Valderrobres y para el barranco de Valdeltormo.

Dentro del ámbito del SNCZI se cuenta también con la **aplicación CAUMAX**, integrada en un sistema de información geográfica, en la que es posible consultar los caudales máximos instantáneos en régimen natural asociados a distintos periodos de retorno para los cauces con una cuenca superior a 50 km².

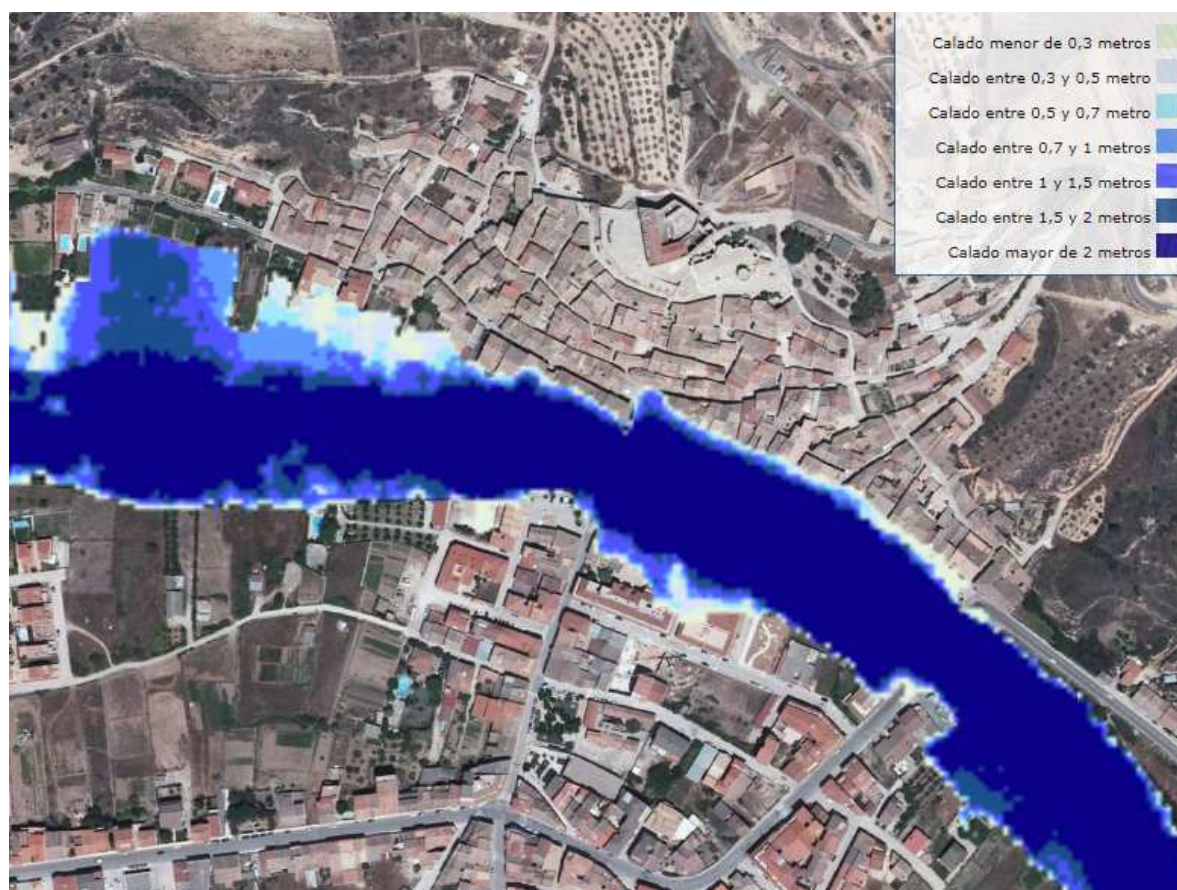
La cartografía se puede consultar desde la web del ministerio (MAGRAMA: <http://sig.magrama.es/geoportal/>) y para el ámbito de la cuenca del Ebro, desde la de la Confederación Hidrográfica del Ebro: <http://iber.chebro.es/geoportal/>



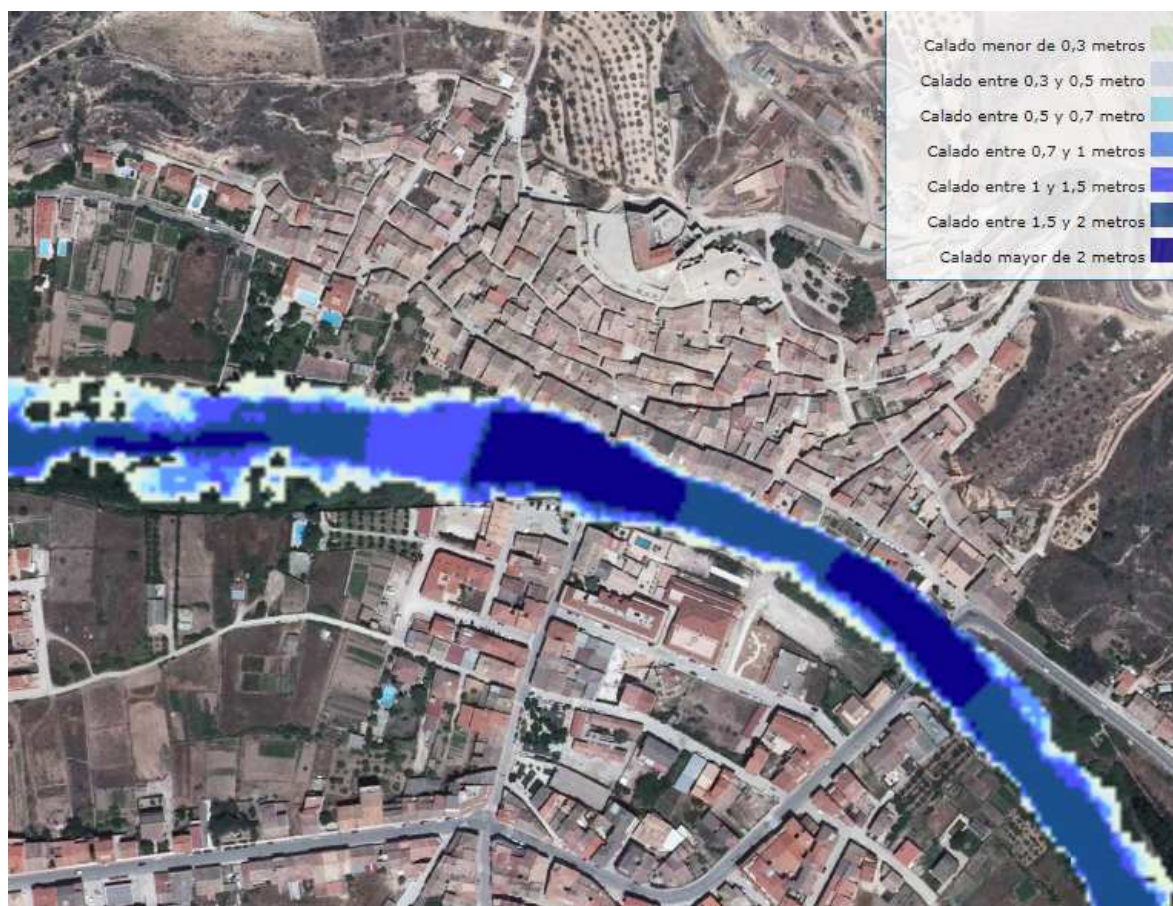
Calados esperados en la val de Valdeltormo para un periodo de retorno de 500 años.



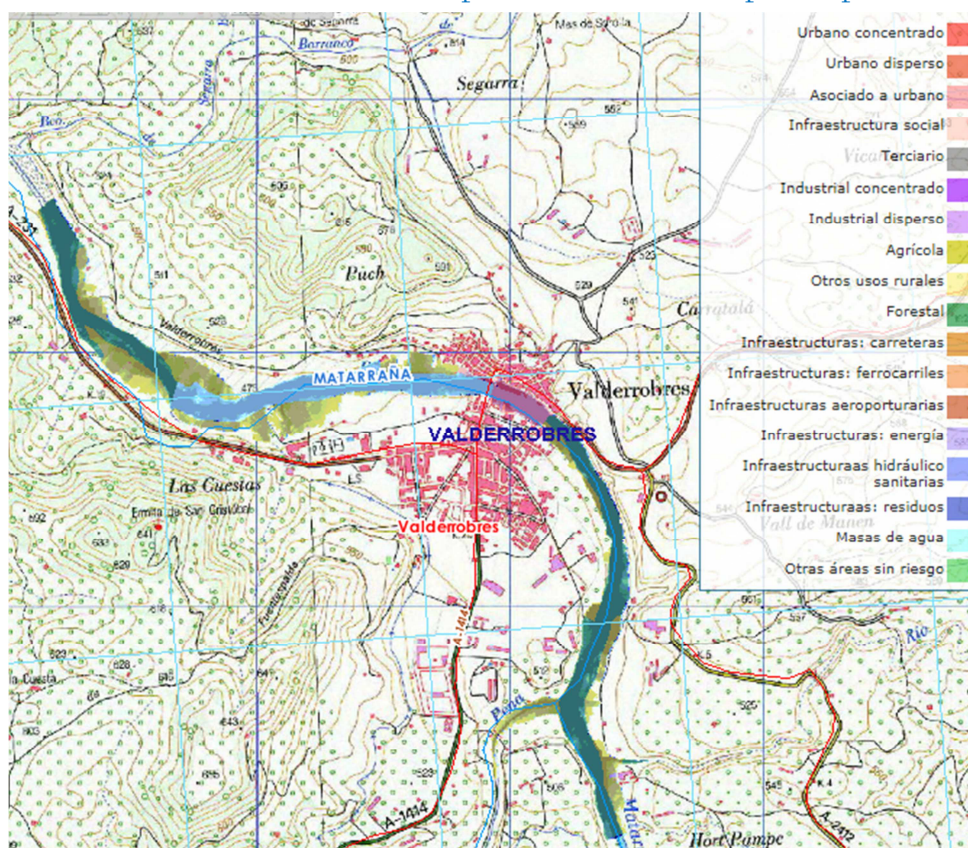
Calados esperados en Valderrobres y su entorno (ARPSI) para un periodo de retorno de 500 años.



Detalle del calado esperado en Valderrobres para un periodo de retorno de 500 años.



Detalle del calado esperado en Valderrobres para un periodo de retorno de 10 años.



Pantallazo del mapa de riesgos en Valderrobres para un periodo de retorno de 500 años.

científicos o tesis doctorales. Es un terreno en claro avance, sobre el que se va experimentando para generar mejores productos. Es necesario incrementar el detalle de los mapas de inundabilidad de forma continua, ya que constituyen la principal herramienta para la previsión y la prevención.

3 Principios para la gestión del riesgo de inundación

La gestión de riesgos es muy complicada y al mismo tiempo muy sencilla. Es muy complicada porque pueden intervenir muchos factores y sinergias que hay que identificar, caracterizar, jerarquizar y controlar, y además es necesario actuar con urgencia. Pero al mismo tiempo es muy sencilla porque es suficiente con un poco de método y mucho sentido común. **La gestión de riesgos se basa en conocer, reflexionar y actuar.**

3.1. Principios fundamentales

Para trabajar en gestión de riesgos lo primero es conocer el río y la situación, y a partir de ahí llevar a cabo una reflexión seria y profunda sobre los siguientes principios fundamentales, que en cualquier planteamiento o actuación habría que tratar de tener siempre en cuenta. Son siete principios que se interrelacionan entre sí y en los que domina el sentido común.

Principio de integración. La gestión de riesgos no puede ser un procedimiento aislado, sino que debe integrarse con la gestión ambiental y la ordenación del territorio y debe integrar todos los riesgos sinérgicos de un área, medidas posibles y agentes implicados, desde la respuesta rápida local hasta la solidaridad internacional. En materia de inundaciones es fundamental, a partir de la alerta temprana, la coordinación entre todas las administraciones y agentes implicados, así como cumplir y respetar todos los principios y acuerdos de carácter ambiental y territorial.

Principio de adaptación. La gestión de riesgos debe adaptarse a los procesos naturales, acompañándolos o imitándolos. No se puede chocar de frente con la realidad del peligro, será contraproducente. Es mucho más inteligente trabajar en la misma línea que el río, porque este tiene, como hemos visto, mecanismos de regulación propios. Hay que conocer bien el río para reconocer in situ y sobre la marcha esos mecanismos y ayudar al río o, al menos, adaptarnos a lo se prevé que pueda hacer. Este principio no solo es útil durante la crecida, sino también después, ya que si el río ha cambiado el trazado o el tamaño del cauce lo más inteligente es tratar de adaptarnos a la nueva situación en vez de obcecarnos en volver a la situación anterior a la crecida. El río ha hablado y solo reduciremos el riesgo si le escuchamos y actuamos en consecuencia.

Principio de mitigación. El riesgo cero es inalcanzable, salvo que renunciáramos totalmente a habitar un territorio. Los riesgos no se pueden evitar ni se eliminan, sino que se reducen o mitigan. Sobre todo nunca hay que creer que una obra de ingeniería va a solucionar totalmente el problema, este es el origen de graves situaciones de falsa sensación de seguridad, como veremos. Mitigar se consigue fundamentalmente reduciendo todo lo posible la exposición y la vulnerabilidad.

Principio de prudencia o de precaución. El mayor proceso extremo está aún por llegar. Hay que estar siempre preparados para lo peor, sin falsa sensación de seguridad, con cultura del riesgo, con información. Este es el principio más importante, el que nos ayudará realmente a reducir el riesgo, y sobre todo se alimenta de la experiencia en casos antecedentes. Lo más prudente es que allí

donde el río ha avisado, “ha mostrado sus escrituras”, se actúe siempre con la máxima prudencia en el futuro, reduciendo al máximo el poblamiento y la actividad humana.

Principio de durabilidad. La gestión de riesgos debe ser un proceso permanente, que no se puede abandonar, y ambientalmente sostenible. Los planes de gestión de riesgos deben renovarse de forma continua y sobre todo con cada nuevo evento que se incorpora a la experiencia en cada lugar. Hay que pensar en las generaciones futuras tratando de mitigar el riesgo de forma ambientalmente sostenible, como se ha sugerido también por el principio de integración.

Principio de resiliencia. La sociedad debe aceptar la situación, aprender de cada evento y ser capaz de recuperarse. Tal como reflexionó Charles Darwin, las especies que sobreviven no son las más fuertes ni siquiera las más inteligentes, sino las más flexibles y adaptables a los cambios. Si queremos seguir obteniendo beneficios de los ríos y de las propias inundaciones, si queremos seguir viviendo junto a ellos, debemos asumir que somos una sociedad en riesgo, pero preparada, adaptada y prudente. Eso nos dará resiliencia, fortaleza y capacidad de reacción y de recuperación ante nuevos eventos similares o mayores. Habremos podido mantener nuestra exposición, pero habremos reducido al mínimo nuestra vulnerabilidad.

Principio de responsabilidad. Los vulnerables informados son responsables de su situación. Los poderes públicos y los gobernantes también. Es fundamental que todas las personas en riesgo estén informadas y conozcan su situación. A partir de ahí, si quieren seguir con su ubicación y actividad pueden hacerlo, pero asumiendo el riesgo con responsabilidad. Pueden suscribirse seguros o contar con declaraciones como zonas de riesgo que permitan ciertos beneficios, indemnizaciones, compensaciones, etc.



Pradilla de Ebro, febrero de 2003.
Foto: Ayto. de Pradilla.



3.2. Previsión y prevención. La red S.A.I.H.

Del mismo modo que los principios anteriores, los conceptos de previsión y prevención son clave en la gestión de riesgos y sirven para estructurar las medidas para la mitigación.

Previsión es un concepto asociado al de **predicción**. Es la definición a priori en el espacio (localización, cartografía), en el tiempo (momento), en el desarrollo y en la intensidad de un riesgo potencial. El objetivo de la previsión es cubrir la laguna de incertidumbre que caracteriza a los riesgos naturales, descubriendo desde la ciencia y la técnica los mecanismos, ritmos, recurrencias, regularidades, y evaluando los costes que los riesgos pueden comportar. La predicción temporal se apoya en sistemas tecnológicos (satélites, aforos...) y es básica para alertar a la población para que evacúe las zonas de riesgo.

La **prevención** se fundamenta en la previsión y consiste en un conjunto de medidas estructurales (infraestructuras) y no estructurales (planificación, ordenación de usos del suelo, educación, sistemas de alarma y emergencia, atención postdesastre...) que buscan disminuir al mínimo los daños que puede producir un riesgo.

Para la previsión y la prevención y, por tanto, la mitigación, es fundamental contar con **sistemas de alerta**. En nuestro país contamos con las **redes S.A.I.H. (Sistemas Automáticos de Información Hidrológica)** en cada una de las demarcaciones hidrográficas. Se decidió su puesta en marcha como consecuencia de las situaciones de emergencia por las avenidas de 1982 (Levante) y 1983 (País Vasco). En 1985 se empezó a instalar el SAIH en las cuencas mediterráneas y en 1988 se iniciaron las obras del SAIH en la cuenca del Ebro, entrando en servicio en 1996. Una extensa red de control proporciona información en tiempo real con frecuencia cada 15 minutos desde embalses, aforos en ríos, aforos en canales, pluviómetros, termómetros, telenivómetros, estaciones automáticas de calidad de aguas y señales de auscultación de presas. Con esta red se consigue la previsión y seguimiento de las avenidas, además de una mejora de las bases de datos meteorológicos e hidrológicos de la cuenca.



El S.A.I.H. se completa con el **S.A.D. (Sistema de Ayuda a la Decisión)**, un conjunto de modelos y herramientas informáticas que simulan en tiempo real el comportamiento hidrológico actual y futuro de la cuenca ante un fenómeno meteorológico adverso previsto. Es decir, es el auténtico sistema de previsión a partir de los datos de la red S.A.I.H.

Como se señala en el Marco de Acción de Hyogo para 2005–2015 “Aumento de la resiliencia de las naciones y las comunidades ante los desastres”, **la promoción de una cultura de prevención es una inversión a futuro muy rentable**. Los sistemas de evaluación de los riesgos y de alerta temprana constituyen inversiones esenciales que protegen y salvan vidas, bienes y medios de subsistencia, contribuyen a la sostenibilidad del desarrollo y desde el punto de vista del costo resultan mucho más eficaces para reforzar los mecanismos para hacer frente a los desastres que las acciones centradas principalmente en la respuesta y la recuperación después de ellos.

3.3. Planes de gestión del riesgo de inundación

En nuestro país las competencias en gestión y defensa frente a los efectos adversos de las inundaciones afectan a todas las administraciones: la local en las labores de planeamiento urbanístico y protección civil; la autonómica en materia de ordenación del territorio, protección civil y gestión del dominio público hidráulico en las cuencas intracomunitarias; la estatal en relación con protección civil, la gestión del dominio público hidráulico en las cuencas intercomunitarias y la gestión del dominio público marítimo terrestre en las inundaciones causadas en las zonas de transición y las debidas a la elevación del nivel del mar. La implantación de la Directiva 2007/60/CE ha supuesto una oportunidad para mejorar la coordinación de todas las administraciones a la hora de reducir estos daños, centrándose fundamentalmente en las zonas con mayor riesgo, las Áreas de Riesgo Potencial Significativo de Inundación (ARPSIs).

Existen numerosos esquemas básicos y modelos para el procedimiento de gestión de riesgos naturales. El más sencillo establece cuatro pasos fundamentales:

- **Análisis de los factores del riesgo:** peligrosidad natural, exposición humana y vulnerabilidad
- **Evaluación del grado de riesgo** y representación espacial (cartografía) y temporal del mismo
- **Propuesta de medidas para la mitigación.** Análisis coste-beneficio, análisis multicriterio y evaluación de impacto ambiental.
- **Medidas de rehabilitación o restauración** a posteriori para reducir los impactos que las medidas de mitigación hayan podido originar.
- **Seguimiento y revisión continua.**

Oficialmente, el **anexo A del RD 903/2010 establece cuál debe ser el contenido de los planes de gestión del riesgo de inundación:**

- a) Las conclusiones de la evaluación preliminar del riesgo de inundación.
- b) Los mapas de peligrosidad y los mapas de riesgo de inundación.
- c) Una descripción de los objetivos de la gestión del riesgo de inundación en la zona concreta a que afectan.
- d) Un resumen de los criterios especificados por el plan hidrológico de cuenca sobre el estado de las masas de agua y los objetivos ambientales fijados para ellas en los tramos con riesgo potencial significativo por inundación.
- e) Un resumen del contenido de los planes de protección civil existentes.
- f) Una descripción de los sistemas y medios disponibles en la cuenca para la obtención de información hidrológica en tiempo real durante los episodios de avenida, así como de los sistemas de predicción y ayuda a las decisiones disponibles.
- g) Un resumen de los programas de medidas, con indicación de las prioridades entre ellos, que cada Administración Pública, en el ámbito de sus competencias, ha aprobado para alcanzar los objetivos previstos. Estos programas de medidas podrán subdividirse en subprogramas en función de los órganos administrativos encargados de su elaboración, aprobación y ejecución.
- h) El conjunto de programas de medidas, formadas estas por medidas preventivas y paliativas, estructurales o no estructurales, deberán contemplar, en lo posible, las siguientes:
 1. Medidas de restauración fluvial, conducentes a la recuperación del comportamiento natural de la zona inundable, así como de sus valores ambientales asociados y las medidas para la restauración hidrológico-agroforestal de las cuencas con objeto de reducir la carga sólida arrastrada por la corriente, así como de favorecer la infiltración de la precipitación.
 2. Medidas de mejora del drenaje de infraestructuras lineales, que incluirán la descripción de los posibles tramos con un insuficiente drenaje transversal, así como de otras infraestructuras que supongan un grave obstáculo al flujo, y las medidas previstas para su adaptación.

3. Medidas de predicción de avenidas, que incluirán al menos:

- Las medidas adoptadas para el desarrollo o mejora de herramientas para predicción o de ayuda a las decisiones relativas a avenidas, temporales marítimos o erosión costera.
- Las normas de gestión de los embalses durante las avenidas.

4. Medidas de protección civil, que incluirán al menos:

- Las medidas de coordinación con los planes de protección civil, y los protocolos de comunicación de la información y predicciones hidrológicas de los organismos de cuenca a las autoridades de protección civil.
- Las medidas planteadas para la elaboración de los planes de protección civil en caso de que éstos no estén redactados.

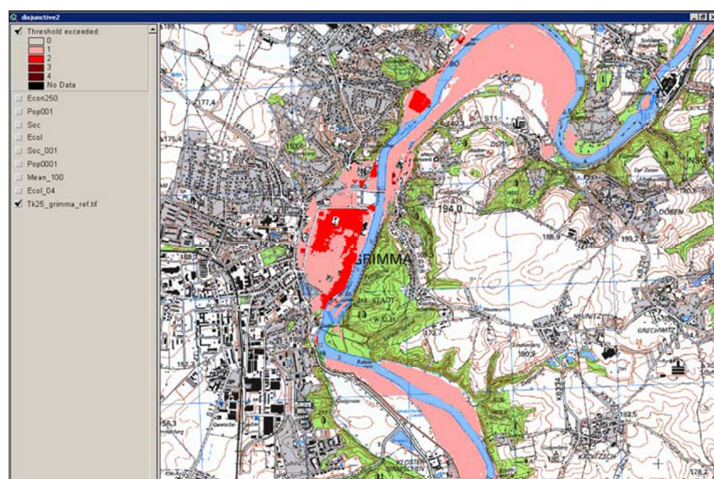
5. Medidas de ordenación territorial y urbanismo, que incluirán al menos:

- Las limitaciones a los usos del suelo planteadas para la zona inundable en sus diferentes escenarios de peligrosidad, los criterios empleados para considerar el territorio como no urbanizable, y los criterios constructivos exigidos a las edificaciones situadas en zona inundable.
- Las medidas previstas para adaptar el planeamiento urbanístico vigente a los criterios planteados en el plan de gestión del riesgo de inundación, incluida la posibilidad de retirar construcciones o instalaciones existentes que supongan un grave riesgo, para lo cual su expropiación tendrá la consideración de utilidad pública.

6. Medidas consideradas para promocionar los seguros frente a inundación sobre personas y bienes y, en especial, los seguros agrarios.

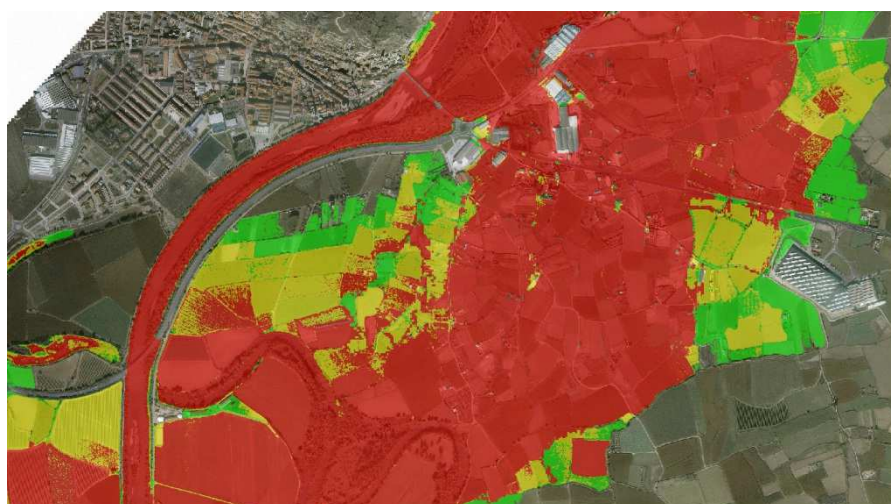
7. Medidas estructurales planteadas y los estudios coste–beneficio que las justifican, así como las posibles medidas de inundación controlada de terrenos.

i) La estimación del coste de cada una de las medidas incluidas en el Plan, y la Administración o Administraciones responsables de ejecutar los distintos programas de medidas, así como de su financiación.



Este planteamiento para la planificación de la gestión del riesgo de inundación es interesante, útil y suficiente. Pero a nivel local puede profundizarse en numerosas medidas, como se expondrá en el catálogo de buenas prácticas del capítulo 5.

Áreas de riesgo en la ciudad de Grimma (Alemania) junto al río Mulder (Meyer et al., 2009)



Riesgo de inundación alto (rojo), medio (amarillo) y bajo (verde) en el río Arga. Gobierno de Navarra.

3.4. Grado de riesgo, periodos de retorno y sentido común

Al definir el riesgo ya se adelantó que puede medirse o evaluarse mediante una fórmula muy extendida que se conoce como la **ecuación del riesgo** y que multiplica los tres factores del riesgo:

$$R = P \times E \times V$$

siendo R el grado o nivel de riesgo, P la peligrosidad, medida como probabilidad de ocurrencia, E la exposición, medida como número total de personas y bienes expuestos, y V la vulnerabilidad, medida como tanto por uno de daños esperados. No es fácil aplicar la fórmula y existen muchos modelos y variantes de la misma. En general, la exposición se cuantifica con facilidad, pero la vulnerabilidad hay que evaluarla con indicadores, algunos de ellos cualitativos. La peligrosidad tampoco es fácil de valorar, trabajándose principalmente mediante los periodos de retorno. El grado de riesgo resultante varía en el espacio y cambia continuamente en el tiempo, en cuanto uno de los factores se modifica. El tiempo no suele aparecer en la ecuación del riesgo, pero hay que tenerlo siempre en cuenta: el grado de riesgo puede variar entre el día y la noche, entre el verano y el invierno y, por supuesto, evolucionará a lo largo del tiempo.

Los periodos de retorno se utilizan tradicionalmente en gestión del riesgo para tratar de descifrar la peligrosidad natural y para actuar en función de ella. En concreto se suelen emplear para el dimensionamiento de infraestructuras y defensas, para cumplimentar los informes de inundabilidad requeridos en ciertos proyectos constructivos, para la cartografía de zonas inundables o para determinar responsabilidades en procesos judiciales, entre otros usos.

Pero el concepto de periodo de retorno no siempre queda claro en la población y, además de que puede llevar a falsa sensación de seguridad, puede ser manipulado con facilidad. Es muy necesario explicar el concepto, así como las ventajas y riesgos de su uso. Periodo de retorno se define técnicamente como **el tiempo teórico que puede tardar en volver a producirse un suceso de determinado nivel al menos una vez con un 99% de probabilidad.** Así, si el periodo de retorno de un evento es de 50 años no quiere decir que se producirá un evento así una vez cada cincuenta años (las crecidas no acontecen de forma periódica, no cumplen ciclos exactos), sino que significa que existe un 2% de probabilidad cada año ($1/50=0,02$) de que se produzca un evento similar. Es decir, si vivimos en una zona inundable con un periodo de retorno de 50 años es como si cada año jugáramos a una lotería de 50 números, uno de los cuales es la crecida; es evidente que podemos tener buena suerte y no nos toque nunca ese número a lo largo de los 50 años, o bien nos puede tocar varias veces. Podemos tener dos crecidas de 50 años en dos años consecutivos, e incluso hasta dos o tres crecidas en el mismo año. Es simplemente una cuestión de probabilidad.

¿Qué periodos de retorno suelen calcularse? El de la crecida anual y el de 2 años pueden ser útiles para conocer mejor el cauce fluvial relacionando su geomorfología con sus datos hidrológicos. El de 5 años nos define inundaciones de alta frecuencia y la habitual diferenciación entre crecidas ordinarias y extraordinarias. El de 10 años se emplea para determinados aspectos de la definición de cauce en la legislación hidrológica. Los de 25, 50, 75 ó 100 años se utilizan mucho para el dimensionamiento de infraestructuras y defensas, especialmente para calcular la altura de diques o motas, evaluándose su coste económico en relación al de los daños que tratan de evitar. El periodo de retorno de 500 años marca el tope en la responsabilidad penal, considerándose que un evento por encima de ese valor puede declararse “imprevisible” eximiendo de culpa a los responsables de la exposición humana en ese lugar, lo cual no debería ser así y resulta como mínimo imprudente, como vamos a explicar a continuación.

El periodo de retorno es simplemente una extrapolación estadística. Como vimos en el apartado 2.4.5., su cálculo se realiza mediante una distribución de probabilidad. Las más habituales utilizan para el cálculo el caudal máximo instantáneo anual de cada año de la serie más larga posible de datos con que contemos. Esto implica varios problemas. El primero es contar con datos, es decir, que haya una estación de aforo de caudal justo en el lugar donde nos interesa calcular los periodos de retorno. Si no es así tendremos que extrapolar a lo largo del río estimando los posibles valores. Si estamos en un barranco que carece de estaciones de aforo tendremos que calcular los periodos de retorno de las precipitaciones máximas caídas generadoras de crecidas, no de los caudales, y eso siempre que tengamos estaciones pluviométricas dentro de la cuenca vertiente del barranco. Otro gran problema del cálculo de los periodos de retorno es que dicho cálculo cambia cada año, puesto que conforme se añade un año más, es decir, un dato más, a la serie se modifican todos los resultados estadísticos. En consecuencia, si se ha realizado una cartografía de zonas inundables por diferentes periodos de retorno, habría que renovarla cada año, y lo mismo ocurriría con un informe de inundabilidad o un proyecto. Otro problema surge cuando se producen dos eventos de notable intensidad dentro del mismo año hidrológico, como ocurrió en el Pirineo aragonés en 2012-2013. Solo el más alto de los dos será empleado para el cálculo. En suma, la experiencia y la bibliografía marcan que solo en zonas con precipitaciones muy regulares y con amplios registros históricos la estimación de periodos de retorno es relativamente fiable.

Entonces, ¿cuáles son las ventajas? Principalmente que los periodos de retorno nos dan una idea aproximada, teórica, de lo que podría pasar en el futuro. Pero debe quedar muy claro que esta aproximación debe emplearse con todas las precauciones. Por el principio de prudencia o precaución nunca podemos creer en los periodos de retorno y confiarnos a ellos. ¿Es sensato construir una urbanización o levantar un camping en un espacio inundable con un periodo de retorno alto, superior a 100 años? Pues sería imprudente, porque significaría jugar cada año a una lotería de 100 números, uno de los cuales es el número negro. Así, el principal inconveniente del periodo de retorno es que, si este es elevado, nos lleva a una falsa sensación de seguridad, lo cual incrementará la exposición y el riesgo, como veremos.

¿Gestionamos el riesgo con periodos de retorno o con sentido común? Debemos utilizar las dos cosas, los periodos de retorno para hacernos una idea tratando de cuantificar el problema. Pero para la toma de decisiones es mucho más fiable el sentido común, que puede apoyarse en la experiencia de expertos, en el conocimiento del río y de la cuenca y, sobre todo, en el principio de prudencia. Realmente no necesitamos leyes ni normativas, que emplean los periodos de retorno, si contamos con sentido común y conocemos nuestro río. Por eso nuestros antepasados se vieron en bastantes menos aprietos con las inundaciones, sabían muy bien sin calcular periodos de retorno dónde era seguro construir o realizar una determinada actividad y dónde era imprudente.



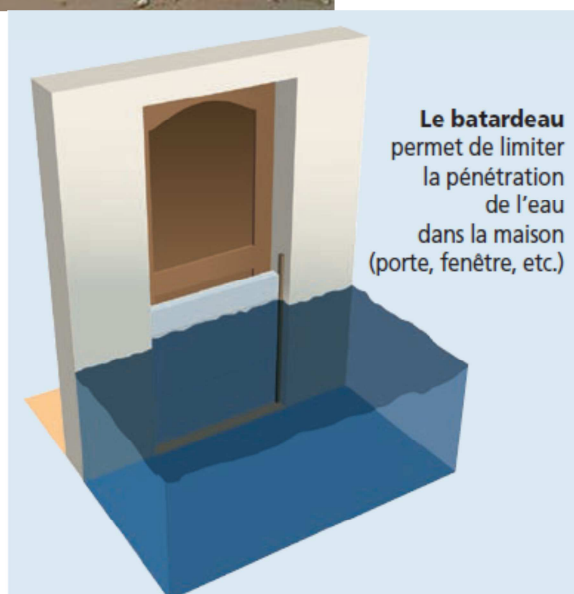
El sentido común, por ejemplo, nos lleva a creer más en la geomorfología que en la hidrología para definir qué es el cauce del río y qué está dentro o fuera de ese cauce. En fotografías aéreas y sobre todo en campo podemos identificar los límites del cauce, nos ayudan la topografía, las formas de relieve, la vegetación, la presencia de sedimentos, etc. Los resultados de estas observaciones geomorfológicas nos permiten el máximo detalle en la definición de los límites reales del cauce. Si no lo hiciéramos así, sino empleando modelos hidrológicos, como se hace generalmente por rapidez y economía, los errores pueden ser importantes y el nivel de detalle mucho menor. En suma, el sentido común nos lleva a conocer mejor el río a través de su geomorfología y de la ciencia geomorfológica. Geomorfológicamente sabemos con exactitud si una casa está dentro del río o no, pero hidrológicamente puede no ser del todo fiable. Hay varios ejemplos de ello, como el camping de Biescas en el barranco de Arás o la urbanización El Molino de Castiello de Jaca, como veremos más adelante.

En la práctica, el sentido común y la prudencia son mucho más útiles que todos los planes de gestión apoyados en normativas y periodos de retorno. La solución es incorporar y poner en máximo valor el sentido común y la prudencia en la planificación y gestión.



Inundación de la N-234 en agosto de 2001 en Villarquemade (Teruel). Foto de F. Montero.

Ministère de l'Écologie, du Développement et de l'Aménagement Durable (2004)



4

Experiencias de aprendizaje

Los ríos, y más en el ámbito mediterráneo, son irregulares y muestran con frecuencia episodios extremos, crecidas y estiajes, que alteran la situación de estabilidad y regularidad que conviene al hombre y a su actividad económica. Se han realizado grandes esfuerzos a lo largo de la historia por comprender, someter a la razón, cuantificar y controlar la irregularidad de la naturaleza y sus situaciones extremas. En general, el funcionamiento de los ríos y su espacio fueron respetados con prudencia y responsabilidad hasta mediados del siglo XX. Había una adaptación al río y un uso sostenible de sus recursos.

Sin embargo, los avances técnicos y los crecientes intereses económicos sobre el agua y las llanuras de inundación, han llevado a una nueva relación hombre-río fundamentada en el intento continuo por dominar y estabilizar la dinámica fluvial. El desarrollo de potente maquinaria para obra civil, la ausencia de sensibilidad ambiental y la disponibilidad de financiación pública han llevado a la percepción social de que el medio fluvial puede ser transformado a conveniencia.



Ilustración
de Andrés
Rábago
“El Roto”

La mitificación del poder transformador de la ingeniería civil bajo un modelo de desarrollo productivista, con importante peso de la agricultura sobre las llanuras de inundación, provocó que las crecidas y la divagación natural de los cauces fueran considerados “defectos” de los ríos que las administraciones públicas tenían la obligación de corregir. A ello se sumó la fuerte presión urbanística sobre las áreas de inundación, de manera que las administraciones locales también se sumaron a la enorme demanda de encauzamientos, motas y escolleras, desarrolladas muchas veces sin planificación ni coordinación.

El éxito a corto plazo de las medidas estructurales (embalses, motas, escolleras...), que suelen ser efectivas para pequeñas crecidas, reforzó la creencia social en su efectividad y conveniencia. Pero cuando estas estructuras han mostrado su incapacidad para controlar crecidas mayores y han tenido internos, derivados de sus propias limitaciones y de sus efectos contraproducentes, apenas se ha realizado una revisión crítica de esta forma de actuar. Al contrario, la sociedad ha demandado más obras, recrementos, dragados sistemáticos, aumentándose el daño a los ríos sin obtenerse tampoco soluciones efectivas. Y mientras tanto, además, la falsa seguridad ha ido aumentando la exposición y la vulnerabilidad. Y todo este mecanismo se ha apoyado en estrategias de propaganda en las que los medios de comunicación han mostrado siempre los daños y nunca los beneficios de crecidas e inundaciones, dando cancha a los afectados y no a los científicos, incidiendo con tintes catastrofistas para terminar haciendo eco de las medidas ingenieriles que iban a solucionar definitivamente los problemas. Para plantear buenas prácticas en gestión de inundaciones hay que aprender de todas estas experiencias y cambiar de perspectiva y de estrategia, buscar nuevos modelos de actuación basados en nuevos principios y criterios como los expuestos en esta guía.

4.1. Aprendiendo de casos concretos

Todo evento natural de carácter extremo y con daños en el medio socioeconómico constituye un adecuado campo de aprendizaje para profundizar en las relaciones del hombre con el medio y para mejorar de cara al futuro, tratando de no caer en los mismos errores. La sociedad necesita tener presente estos eventos, **porque olvidos pasados han conducido a nuevas tragedias y la ocupación humana de los espacios fluviales asegura una catástrofe futura.** Cuesta entender que nuestra sociedad avanzada prefiera, en general, seguir arriesgándose ante los peligros naturales antes que revisar y replantearse ciertos usos del territorio.

Determinados eventos pasados fueron el origen de malas y buenas prácticas de actuación. Por ejemplo, las inundaciones del Mississippi en 1927 promovieron grandes infraestructuras de regulación y defensa con coordinación a escala de cuenca, promulgándose la ley *Flood Control Act* que consolidó las grandes actuaciones de ingeniería que aún hoy predominan. Las inundaciones en los Países Bajos en 1953 fueron el origen de los sistemas de alerta. El gran desastre de la presa del Vajont en Italia en 1963, con casi tres mil muertos, despertó conciencias y sacó a la luz el concepto de la falsa seguridad. Las crecidas de los años 90 en el Rhin impulsaron la adopción de un nuevo enfoque estratégico para la gestión de inundaciones a escala de cuenca con adopción conjunta de medidas estructurales y no estructurales. Las grandes crecidas centroeuropeas del verano de 2002 están en el origen de la Directiva de inundaciones. La inundación de Nueva Orleans en 2005 puso en evidencia las limitaciones y las contraindicaciones de los diques. En España no pueden olvidarse las inundaciones de Valencia en 1957, la tragedia de Ribadelago en 1959, los graves y mortíferos eventos del Vallés (Barcelona) en 1962, de Almería, Granada y Murcia en octubre de 1973, de todo Levante en 1982 (incluyendo la rotura de la presa de Tous) o del País Vasco en agosto de 1983, ni las tragedias de Yebra y Almoguera (Guadalajara) en agosto de 1995 o del arroyo Rivillas en Badajoz en noviembre de 1997.

Vamos a tratar a continuación de obtener lecciones de algunos casos acontecidos en Aragón en los últimos 100 años. Este territorio, no más que otros (lo tratamos por proximidad a los primeros lectores de esta guía), ha asistido en las últimas décadas a variados episodios para enriquecer nuestro aprendizaje.

Confiemos en la experiencia, que ha sido siempre la base de la supervivencia de nuestra especie. Como decía el proverbio latino, “*errare humanum est, perseverare diabolicum*”, no hay que tropezar dos veces con la misma piedra. **Esta experiencia de aprendizaje es fundamental para incrementar nuestra resiliencia, nuestra fortaleza y capacidad de recuperación ante futuros eventos.**

4.1.1. Aguilón 1921

El 20 de septiembre de 1921 perdieron la vida 18 personas y quedaron 40 casas hundidas en la localidad de Aguilón, en el somontano ibérico zaragozano. Una fuerte tormenta generó una crecida súbita en el barranco que atraviesa el pueblo y que constituye aún hoy su calle principal. Las aguas alcanzaron 3 m de altura. Hubo otras crecidas importantes en Aguilón en 1981 y 2003.



El barranco de Aguilón atravesando el centro urbano



Marcas en recuerdo del evento. Fotos de Cande Capdevila (<http://candeaguilon.blogspot.com.es>).

En Aragón hay más de 300 núcleos de población en situaciones similares, con pequeños cursos de agua esporádicos que pueden presentar crecidas rápidas y violentas. En la Península Ibérica los casos son innumerables y no se han cuantificado. Por ello es tan importante aprender y de todas las experiencias vividas y registrar el riesgo.

4.1.2. Ribera del Ebro 1961

Las crecidas del río Ebro son frecuentes, prácticamente anuales, y en el curso medio aragonés desbordan con facilidad ocupando las aguas una llanura de inundación de entre 3 y 6 km de anchura. Los habitantes ribereños se han habituado durante siglos a compartir sus actividades con este riesgo. La mayor parte de las localidades ribereñas se levantan sobre las terrazas del río a resguardo de las inundaciones, pero algunos núcleos de población, Novillas, Pradilla, Boquiñeni, Alcalá, Cabañas, la margen izquierda de Zaragoza, Pastriz y Pina, se localizan dentro de la llanura de inundación. Las crecidas más graves son invernales y se producen cuando coinciden los caudales procedentes del alto Ebro con los del río Aragón. Las de febrero de 1643, septiembre de 1787, enero de 1871 y enero de 1874, con inundaciones generalizadas, rompieron puentes y causaron numerosas pérdidas humanas.

Entre las avenidas extraordinarias del siglo XX destacan la de marzo de 1930 y, sobre todo, la de enero de 1961, con 4.950 m³/s de caudal punta en el aforo de Castejón (Navarra) y 4.130 m³/s en Zaragoza. Como hemos visto, los desbordamientos laminan las crecidas aplanando el hidrograma aguas abajo; es por ello que la punta de crecida es siempre más baja en Zaragoza que en Castejón. Las últimas crecidas extraordinarias del Ebro han tenido lugar en noviembre de 1966, febrero de 1978, diciembre de 1980, enero de 1981 y febrero de 2003.

La crecida del día de Año Nuevo de 1961 fue la más importante del siglo XX, ocupando la totalidad de la llanura de inundación del curso medio del Ebro. Los daños económicos fueron importantes, pero no hubo ninguna víctima personal. Las localidades ribereñas estaban perfectamente habituadas a las grandes crecidas y se habían registrado dos recientes (febrero de 1952 y diciembre de 1959). Alcalá y Cabañas sufrieron no solo la inundación, sino el embate de la consolidándose sus sistemas de defensa tras la crecida. Uno de los efectos más interesantes de la crecida fue la corta de meandro registrada aguas arriba de Zaragoza, formándose el galacho de Juslibol.

Aquella crecida de enero de 1961 constituyó el punto de arranque de un conjunto de grandes actuaciones de defensa mediante motas y escolleras en todo el curso medio del Ebro. La inversión,

financiada en su mayor parte por el Estado, tuvo que ser muy importante. Aquella crecida marca el inicio de la pérdida de libertad del Ebro, que ya no pudo desarrollar más sus meandros (considerados todavía por los ingenieros de la época como anomalías o caprichos de la naturaleza) ni cortarlos. El sistema de diques y escolleras se terminó de completar en los años 80 (tras las nuevas crecidas de 1980 y 1982), construyendo de forma definitiva el cauce del Ebro. Hasta 2003 no se pondrá en duda este sistema de defensa, que todavía hoy es el principal en el Ebro.



Foto de Miguel Marín Chivite (Archivo Municipal de Zaragoza)



Foto: Archivo Miguel París

Imágenes de la crecida de 1961 en Zaragoza, Pradilla, Alcalá de Ebro y Torres de Berrellén, publicadas en el libro “El Ebro desbordado”.



Foto de Miguel Marín Chivite (Archivo Municipal de Zaragoza)



Foto: Archivo Heraldo de Aragón

4.1.3. Fraga 1982

El caso de Fraga es de enorme interés como paradigma de una ciudad que se ha desarrollado en las últimas cinco décadas dentro del espacio fluvial inundable, y en cuyo plan de ordenación urbana de los años setenta no se hacía ninguna referencia al riesgo de inundación.

A pesar de la regulación de los grandes embalses de Mediano, El Grado y Barasona, el Cinca mantiene la peligrosidad por grandes crecidas. La de noviembre de 1982 fue causada por intensas lluvias en todo el alto Pirineo. En toda la cordillera se produjeron notables procesos hidromorfológicos. El día 7 se registró en Escalona un caudal medio de 1085,3 m³/s, llegando el pico de crecida al día siguiente a Fraga, donde se midió un caudal medio diario de 2348,4 m³/s y un

caudal punta instantáneo de $4.195 \text{ m}^3/\text{s}$. La ciudad de Fraga sufrió una notable inundación, con casi 2 m de altura en algunas calles.



Crecida de 1997. Foto: José Luis Escuer

Más recientemente, la crecida de diciembre de 1997, de $1.600 \text{ m}^3/\text{s}$, estuvo a punto de superar las defensas y generó una notable alarma social, que se ha incrementado en los últimos años. Se constituyó la plataforma “Por un río seguro” que ha demandado continuamente labores de dragado y limpieza, ejecutadas periódicamente a pesar de la preocupante incisión (favorecida por los embalses de aguas arriba y por antiguas extracciones de áridos) que se constata en los pilares del puente bajo de la ciudad.



Evolución urbana de Fraga en 1927 (izda.), 1946 (centro) y actualidad (dcha.)

Al margen de estos problemas que perviven y de las continuas actuaciones de emergencia con dragados de escasa utilidad y contraproducentes ante la problemática local de incisión, el aprendizaje del caso de Fraga derivó también en una interesante cartografía de inundabilidad realizada en 2006 y en una serie de debates en busca de soluciones, así como en la eliminación de una mota obsoleta aguas arriba en el marco de la Estrategia Nacional de Restauración de Ríos.

Detalle del mapa de inundabilidad de 2006 realizado por la empresa INCLAM para la C.H.Ebro



4.1.4. Biescas 1996

La tragedia del camping de Biescas (Huesca) el 7 de agosto de 1996, con 87 víctimas mortales, marca un antes y un después en el análisis y la gestión de los riesgos naturales en España. Hubo una reacción contundente de denuncia por parte de muchos colectivos y de comunidad científica. Puede considerarse el punto de inicio de varios cambios destacables en nuestra legislación, así como un antecedente claro que ha servido para no cometer errores similares en otros lugares.

La crecida o, mejor dicho, el flujo hiperconcentrado, se formó a raíz de una intensísima precipitación tormentosa y se acrecentó por la confluencia de los tres barrancos (Betés, Aso, La Selva) que forman el Arás y sobre todo por los sedimentos morrénicos depositados en 42 presas colmatadas y mal construidas, de las cuales al menos 27 fueron rotas por la avenida e incorporados sus materiales al flujo. Una negligente planificación del territorio permitió la construcción de un camping en el cono activo del barranco, cono que contaba con una canalización con capacidad para evacuar un caudal de $100 \text{ m}^3/\text{s}$. Se estima que el caudal circulante en la crecida multiplicó por 5 esa cantidad. Sobre el cálculo del periodo de retorno de la precipitación hubo resultados muy diversos en los diferentes estudios, adoptándose oficialmente un valor superior a los 500 años para evitar responsabilidades judiciales, lo cual llevó a sobreseer el caso.



La Tensina embarrancada en el cono del barranco de Arás en 1922



El cono dos semanas después de la tragedia



Reconstrucción de presas posterior a la catástrofe

Esta catástrofe debe seguir llevando a la reflexión, de lo importante que es una correcta ordenación del territorio en espacios fluviales inundables, así como de lo intrascendente que puede resultar la aplicación de periodos de retorno que, por muy altos que sean, no justifican ciertas actuaciones ni deberían eximir de responsabilidades. Con posterioridad a la tragedia, el Estado ejecutó unas costosísimas y espectaculares obras de reconstrucción de las presas de retención de sedimentos del barranco de Arás, abriendo una segunda canalización complementaria en el cono. Son alardes

de ingeniería sin utilidad, ya que nunca habrá de instalarse infraestructura alguna en dicho cono.

Mejor habría sido dejar el barranco en su estado tras la crecida, como ejemplo que nunca hay que olvidar, de manera que éste hubiera podido aportar sus sedimentos al Gállego, cuyo cauce está pasando de trenzado a único con problemas de incisión precisamente por las retenciones sedimentarias de embalses de cabecera y presas en afluentes.



Imágenes de los cauces del barranco y sus afluentes dos semanas después del evento

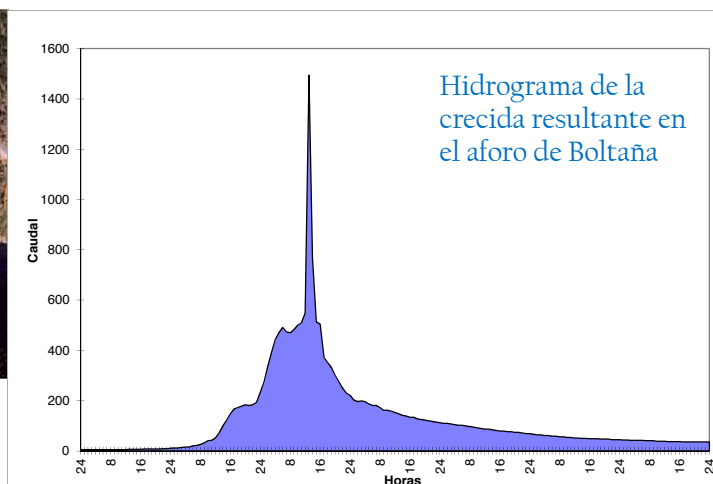
4.1.5. Jánovas 1997

Apenas un año después de la tragedia de Biescas pudo vivirse otra en Boltaña. El 18 de diciembre de 1997 una crecida del río Ara de unos $700 \text{ m}^3/\text{s}$ de caudal punta tropezó con la presa-atagüa levantada pocos meses antes por Iberduero como paso previo a la construcción del polémico embalse de Jánovas, posteriormente desestimado por su impacto ambiental. La presión del agua rompió la atagüa, hecha de materiales sueltos, formándose un gran boquete. La crecida resultante, muy rápida como se observa en el hidrograma, marcó un caudal de $1.551 \text{ m}^3/\text{s}$ (4 m de altura en el aforo) en Boltaña, apenas 10 km debajo de la atagüa. Fue el tercer caudal más alto del siglo (el mayor se registró el 29 de agosto de 1942 con $2.670 \text{ m}^3/\text{s}$), produciendo la ruptura de defensas y obligando a desalojar el núcleo de Margudged, aunque no hubo ningún daño personal.



Foto aérea de la ataguía de Janovas antes de su ruptura

Este evento muestra la irresponsabilidad de determinadas actuaciones en cauces realizadas sin respeto por el río y sin previsión de las posibles consecuencias.



4.1.6. Valderrobres 2000

El río Matarraña y sus afluentes vivieron su mayor crecida de las últimas décadas en octubre de 2000, superando con creces todos sus registros de aforo. Una situación de gota fría provocó lluvias intensas y prolongadas, que afectaron también a la cuenca del Bergantes y otros ríos ibéricos próximos. El caudal del Matarraña superaba los 800 m³/s cuando la estación de Nonaspe se averió por la fuerza del agua. No hubo víctimas, solo daños materiales importantes en la agricultura, destacando también la rotura de un arco del puente viejo de Peñarroya de Tastavins. En Valderrobres la corriente alcanzó el nivel del puente de hierro y deterioró algunos bajos y fachadas de los edificios que se muestran en la fotografía, que corresponde al momento álgido de la crecida.

La hidrología del Matarraña es de marcado carácter mediterráneo, lo cual queda reflejado en sus crecidas otoñales. Su cabecera es propia de un curso de montaña con fuertes pendientes y rápida concentración de caudal por la confluencia de afluentes y barrancos. Sin embargo, salvo Valderrobres, sus núcleos de población quedan a resguardo de las crecidas. La peligrosidad es elevada por la torrencialidad del funcionamiento fluvial, pero el riesgo es bajo ya que la exposición directa es muy escasa.

La crecida de 2000 fue una buena referencia para conocer el funcionamiento extremo del río y estar preparados frente a futuros eventos.

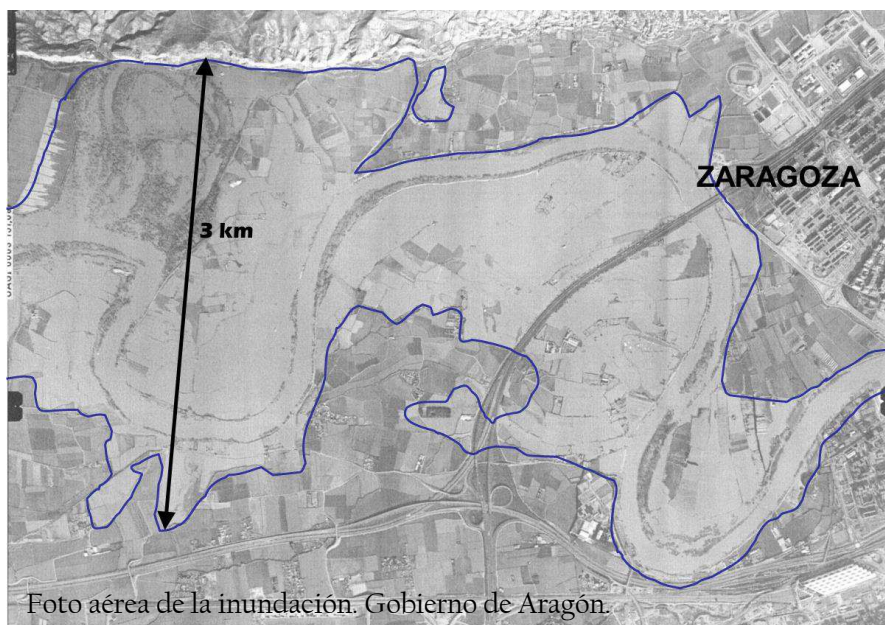


Valderrobres,
23 de octubre de 2000.
Foto: F. Montero

4.1.7. Zaragoza 2003 y 2008

El río Ebro ha asistido en el siglo XXI a varios procesos de crecida (2003, 2007, 2008, 2013) tras dos décadas de mayor tranquilidad hidrológica. La localización de la Exposición Internacional de 2008 en el espacio inundable del río ha condicionado algunos aspectos, apareciendo un nuevo actor en las crecidas y un nuevo conflicto en las relaciones entre la ciudad y las comunidades ribereñas de aguas arriba.

Ya en la crecida de febrero de 2003, con casi 3.000 m³/s en Zaragoza, se observó una mayor superficie inundada que lo que correspondería por caudal, lo cual se debió al constreñimiento del cauce por defensas muy próximas entre sí (terminadas en los años 80, como se ha referido en el apartado 4.1.2), con la consiguiente elevación de la corriente, rotura de las motas en muchos puntos, sobreinundación de los sectores no defendidos y encharcamientos a partir del freático. Los daños fueron muy



importantes, pero los extensos desbordamientos en la Ribera Alta aragonesa (se inundó el 83% de la superficie inundable, alcanzando el cauce una anchura media de 3,5 km) laminaron lo suficiente la crecida como para que sus efectos en Zaragoza no fueran graves. A raíz de aquella crecida se redactó el Plan Medioambiental del Ebro, en el que se proponía como medida fundamental de gestión de inundaciones la devolución de espacio al río: el Territorio Fluvial. El Plan nunca se llevó a cabo, pero el evento de 2003 advirtió claramente de la necesidad de laminar las crecidas del Ebro en su propia llanura de inundación aguas arriba de Zaragoza. Esta necesidad se hizo más fuerte desde el momento en que Zaragoza iba a organizar la Expo 2008 y ésta se iba a localizar dentro de la llanura de inundación del Ebro, en el meandro de Ranillas. Surge así una nueva situación en la que la Ribera Alta, en general con buena predisposición, será garante de la seguridad de Zaragoza.

Crecida de junio de 2008 en el recinto Expo

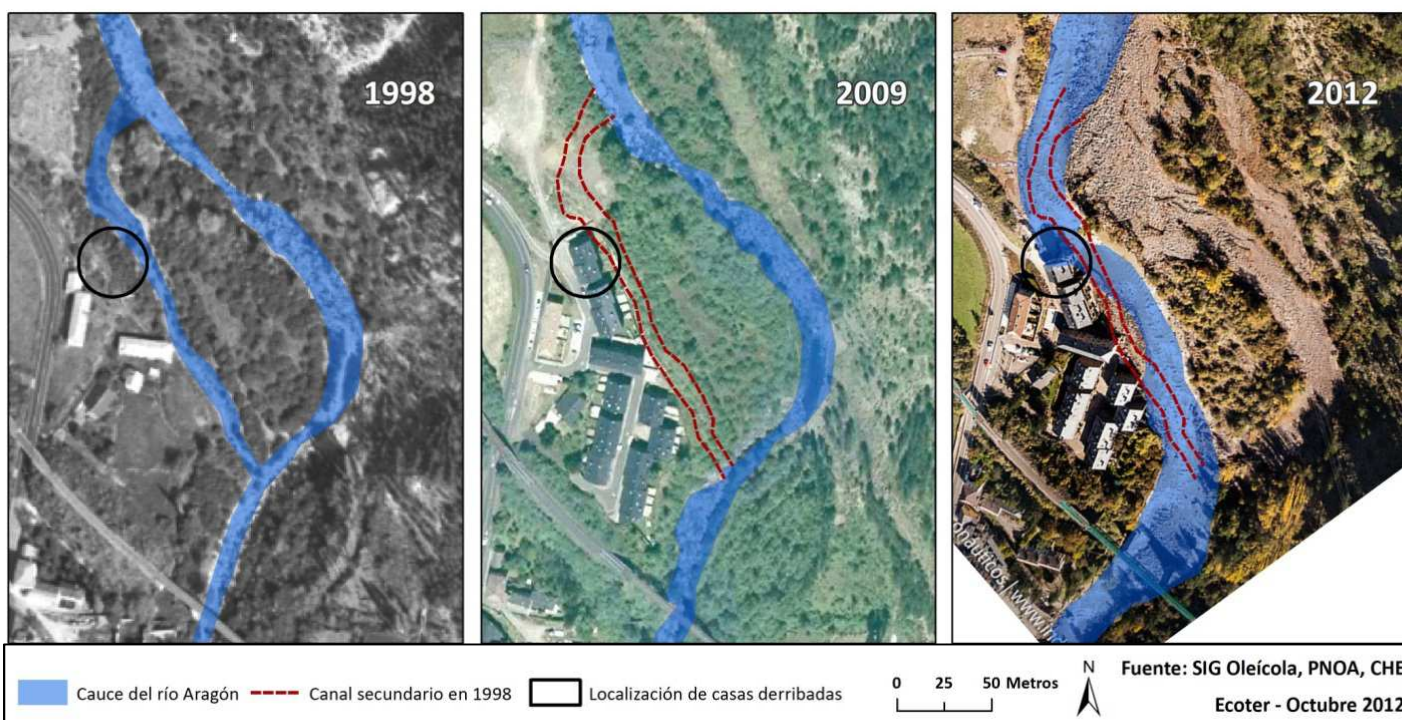


Las crecidas de abril de 2007 y junio de 2008 demostraron que esa necesidad no estaba infundada. La primera afectó a las obras de la Expo y la segunda aconteció solo una semana antes de la apertura del evento, amenazando con dificultar su puesta en marcha. En ambos casos se rompieron motas para facilitar la inundación aguas arriba y propietarios agrarios accedieron voluntariamente al anegamiento de sus campos, así que el recinto Expo se salvó en buena medida gracias a los desbordamientos en la Ribera Alta.

4.1.8. Castiello de Jaca 2012

La ocupación de un espacio de riesgo por una urbanización provocó el espectacular desplome de dos viviendas el 19 de octubre de 2012. Afortunadamente no hubo víctimas, pero el río Aragón simplemente ocupó todo su cauce para poder evacuar una crecida extraordinaria, causando daños en la urbanización El Molino de Castiello, que se había levantado hace una década dentro del espacio del río. No se debería haber permitido esa construcción en su momento, ni se debería haber permitido regresar a sus habitantes después de la crecida a los edificios tras unas obras de emergencia en el cauce que no garantizan que en la próxima crecida extraordinaria (que puede acontecer en cualquier momento) no vuelva a suceder lo mismo.

Las intensas precipitaciones acumuladas los días 18 y 19 de octubre dieron lugar a importantes crecidas en las cuencas del Aragón, Arba, Gállego y Cinca. El siguiente esquema evolutivo demuestra que la parte de la urbanización afectada está construida sobre un antiguo cauce secundario del río Aragón. En la ortofoto de 1998 se observa que el río Aragón se dividía en dos cauces funcionales, el principal a la derecha de la imagen y el secundario a la izquierda. La vegetación de ribera ocupaba las márgenes de ambos canales y colonizaba con formaciones maduras la isla central. En la foto de 2009 ya se ha taponado artificialmente el antiguo cauce secundario (en línea discontinua) y ya se ha construido la urbanización “El Molino” sobre la antigua orilla. La fotografía aérea de 2012 fue tomada por la Confederación Hidrográfica del Ebro un día después de la crecida. Se observa que el río Aragón ha retomado su antiguo cauce



secundario convirtiéndolo en principal, ya que al ser más corto y de mayor pendiente fue más eficiente para evacuar los caudales de crecida. Mientras, el anterior cauce principal quedó taponado por la acumulación de sedimentos gruesos depositados por la crecida. En esta masa sedimentaria predomina lo arrastrado por el río desde aguas arriba (comprobado en campo por el elevado rodamiento de bloques y cantos), pero hay también una muy pequeña porción procedente del deslizamiento paralelo a la crecida que se produjo en la ladera de la margen izquierda. Hay que tener en cuenta además que la corriente viene de un rebote con la margen izquierda, en concreto contra la ladera afectada por el deslizamiento, pero, independientemente de que haya habido

deslizamiento o no, el resultado de dicho rebote es dirigir la corriente hacia la margen derecha. Y precisamente los unifamiliares que cayeron, los de aguas arriba (marcados con un círculo en la figura), se encontraban al borde del punto de máxima inflexión del meandro del cauce secundario, es decir, en la zona de máxima energía, por lo que los cimientos fueron socavados y la construcción se desplomó en menos de un segundo.



Foto: Estela Nadal

Es muy importante resaltar que el cauce ubicado bajo la urbanización es más recto, directo y de mayor pendiente, por lo que en cada crecida con caudal importante el río Aragón tenderá a desviar la mayor parte de su corriente y energía por él. Esta energía puede estimarse, teniendo en cuenta una pendiente superior al 2% y un caudal de crecida de $600 \text{ m}^3/\text{s}$, similar al que circuló en octubre de 2012, en unos 120.000 vatios/metro de potencia bruta. Ante esta energía, en una crecida igual o superior a la acontecida en octubre, ni los refuerzos realizados en las casas posteriormente ni los trabajos de reencauzamiento realizados suponen ninguna garantía: probablemente el río descalzará la escollera y saltará por encima para retomar su cauce de avenida natural.

Este tramo del río Aragón en Castiello de Jaca está catalogado como Área con Riesgo Potencial Significativo de Inundación (ARPSI), dentro de la Evaluación Preliminar del Riesgo de Inundación (EPRI) exigida por la Directiva 2007/60/CE.

Fotografía tomada un mes después de la crecida, con las primeras obras de encauzamiento ya realizadas.

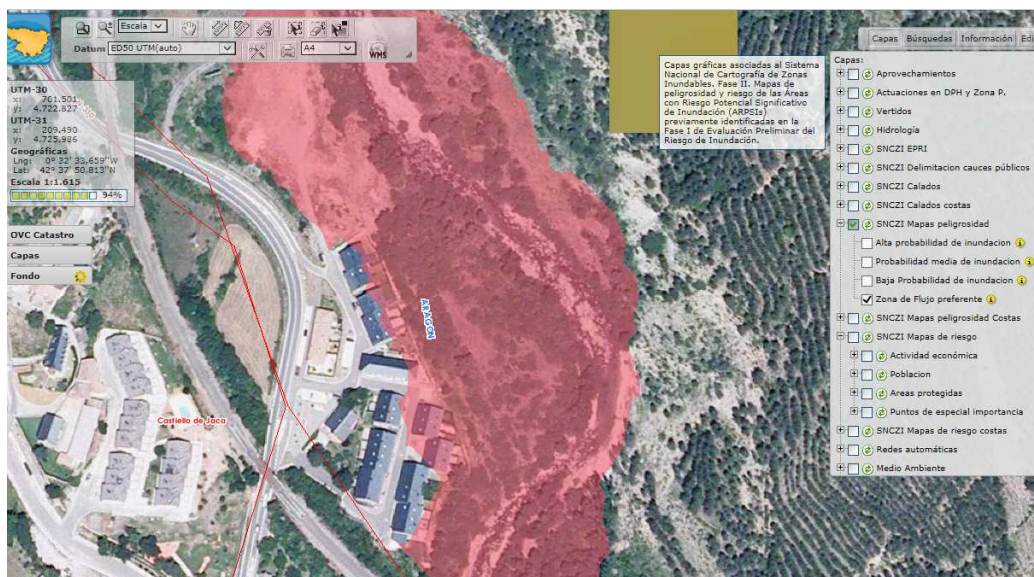


Fotografía tomada cinco meses después de la crecida. Foto: José Luis Benito.



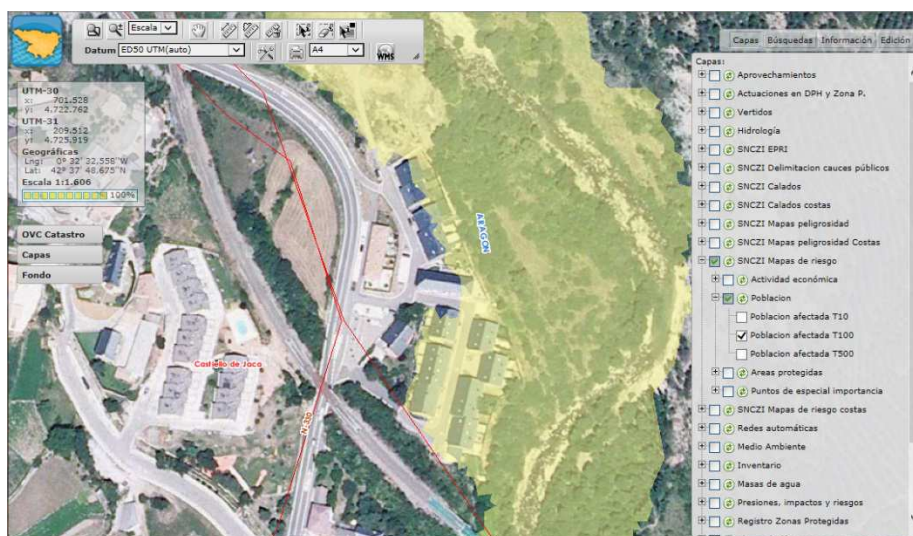


Fotografías realizadas siete meses después de la crecida



Pantallazo obtenido el 10 de julio de 2014: <http://iber.chebro.es/sitebro/sitebro.aspx>. En rojo la Zona de Flujo Preferente definida por el Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables del MAGRAMA.

Imagen inferior: en amarillo la inundación esperada para un periodo de retorno de 100 años, afectando a buena parte de la urbanización.



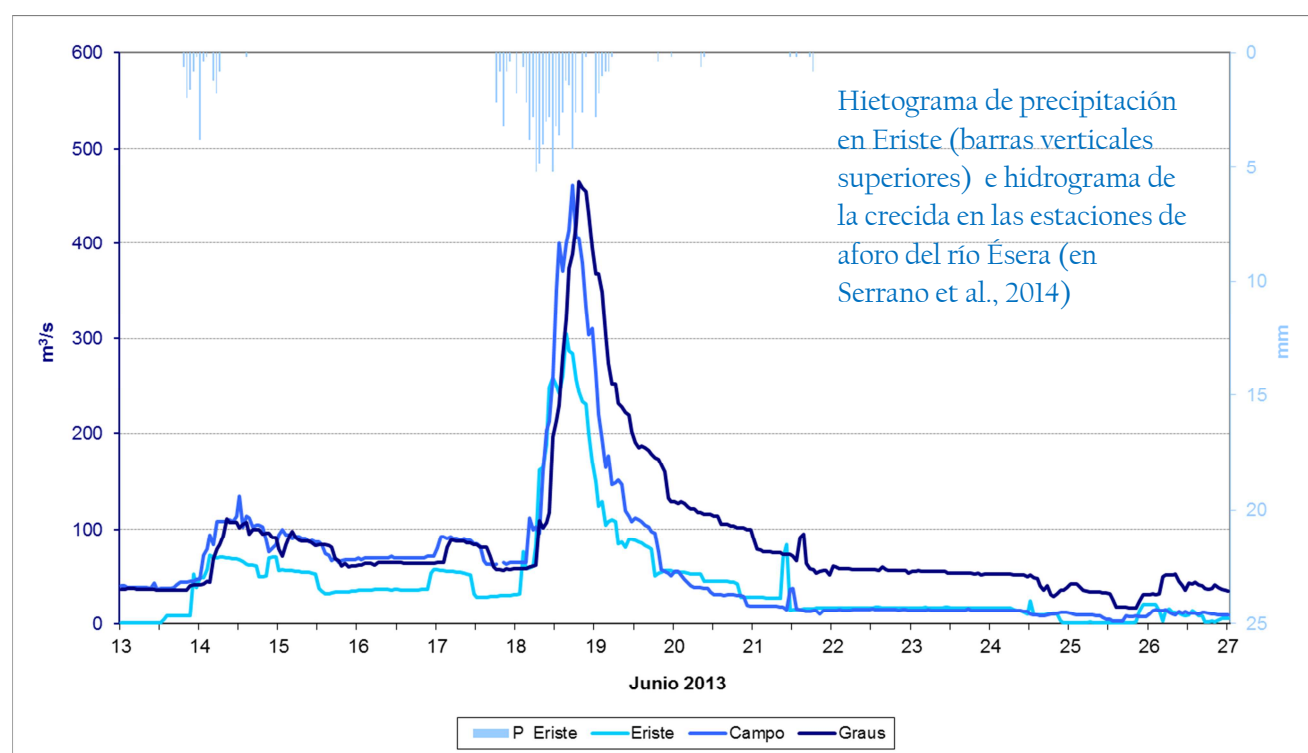
El río Aragón derribó igualmente dos pequeñas casas de huerta aguas abajo de Castiello, erosionó el talud de la carretera N-330 y generó daños también en Canfranc, Villanúa y Jaca. En Villanúa destruyó un sector de la escollera del encauzamiento rectilíneo (ejecutado hace unos años y rellenado con los restos de extracción del túnel de Somport), iniciando un meandro que amenaza a otra urbanización mal ubicada. También en este caso el río ha intentado con la crecida salirse del constreñimiento artificial y recuperar su antiguo cauce. Se han invertido más de 4 millones de euros en la reparación de emergencia de todas estas situaciones en Castiello, Villanúa y Canfranc.

Las obras realizadas no han solucionado la situación de riesgo, sino que la han consolidado. El peligro del río es permanente, por lo que la única manera de evitar el riesgo en este caso sería impedir la exposición, es decir, no habitar las viviendas.

4.1.9. Benasque 2013

La ineficacia de las motas y escolleras y el aumento del riesgo asociado a su construcción (debido a la falsa sensación de seguridad generada por estas infraestructuras) tienen un ejemplo reciente en los daños causados durante la crecida del Río Ésera en junio de 2013.

El 18 de junio de 2013 se produjo un evento de precipitación importante que afectó a todo el Pirineo central en ambas vertientes. La precipitación acumulada en el refugio de la Renclusa fue de 256 mm. Tanto el desarrollo de la respuesta hidrológica del evento como la intensidad de los efectos, fueron similares a los sufridos en las crecidas de agosto de 1963 y noviembre de 1982. Durante el evento de los días 18 y 19 de junio de 2013, la respuesta hidrológica de las diferentes cuencas pirenaicas fue proporcional a la intensidad de las precipitaciones recibidas, sumándose a ellas una importante fusión nival debida a la abundante innivación del invierno y primavera previos y a la escasa acumulación de altas temperaturas en el primer semestre del año.



La crecida alcanzó gran magnitud, principalmente en el río Ésera, que superó la capacidad del cauce menor en muchas localizaciones concretas, entre otras la población de Benasque y urbanizaciones aledañas. Las modificaciones en el cauce menor del Ésera se hicieron notables desde la cabecera, en los Llanos del Hospital, hasta el embalse de Linsoles pasando por la propia población de Benasque. Los caudales generaron erosión en márgenes, incisión en varios tramos, algunas migraciones del cauce menor y sedimentación en las llanuras de inundación del Hospital, Turpi y Senarta. Esta reactivación geomorfológica actualizó el cauce y definió sus dimensiones, demostrando que había sido invadido inadecuadamente en amplios sectores. Estas invasiones antrópicas sufrieron lógicamente daños, con afecciones a carreteras, varios puentes y pistas, construcciones, así como muros, escolleras y gaviones arrastrados. Los daños en el cercano valle de Arán (Lleida) fueron también muy destacables, con carreteras cortadas e interrupción del suministro de agua potable. En Francia las crecidas del 18 de junio también provocaron graves daños en infraestructuras y vías de comunicación, especialmente en Bigorre (Barèges y Lourdes), con dos víctimas mortales.

Consecuencias en el medio natural	
Llanos del Hospital	erosión en márgenes
	sedimentación en amplias zonas del llano y zona del vado
	incisión
Llano de Turpí	erosión en márgenes
	sedimentación en amplias zonas del llano y zona del vado
	incisión
Tramo Turpí–Senarta	erosión en márgenes
	movimiento del cauce menor
Llano de Senarta	desbordamiento con aportes de material
	sedimentación en la cola del embalse de Paso Nuevo
Paso Nuevo–Central Ruda	erosión de márgenes
	incisión
Central de Ruda–Benasque	erosión de márgenes
	zonas de sedimentación
	movilidad del lecho menor
	trazado de nuevos cauces menores
Benasque	erosión en márgenes y ampliación de curvas
	incisión
Benasque–Linsolés	cambios en trazado del cauce
	erosión de márgenes
	deposición de sedimentos en zona baja
Zona baja	movilidad del cauce menor
	erosión de márgenes, ampliación de curvas
	puntuales
	sedimentaciones

Tabla de efectos de la crecida en el Valle de Benasque (publicada por Serrano et al., 2014)

Afecciones urbanísticas	
Llano de Senarta	afecciones a caseta de recepción
Paso Nuevo–Central Ruda	potabilizadora inutilizada
Central de Ruda–Benasque	afecciones al acceso al polígono industrial
Benasque	algunos edificios expuestos directamente al agua
	caseta de Cazadores destruida
	afecciones a instalaciones de depuración de aguas residuales
	inundaciones en calle Mayor
Benasque–Linsolés	edificios expuestos directamente al flujo en La Granja y Linsolés
	pistas polideportivas de Peguera anegadas y dañadas
	urbanización Linsolés inundada
	edificios de Eriste inundados
Zona baja	zonas deportivas anegadas en Villanova y Castejón
	camping de Castejón de Sos destruido
	afecciones en depuradora de Castejón de Sos

Afecciones a infraestructuras	
Llanos del Hospital	afecciones a puente del vado, puente del llano y senderos
Llano de Turpí	afecciones puntuales en puentes
Tramo Turpí–Senarta	afecciones en pista forestal, tramos desaparecidos
Llano de Senarta	puente de acceso sepultado
	pista dañada
Paso Nuevo–Central Ruda	puente camping Aneto dañado
	puente Ruda sepultado
Central de Ruda–Benasque	escolleras arrastradas
	escolleras y gaviones arrastrados
	traída de aguas de Benasque destruida
	carretera A-136 destruida en varios puntos
Benasque	zona de picnic destruida
	senderos destruidos
	camino de huertos destruido
	escolleras arrastradas
Benasque–Linsolés	partes del muro arrastradas
	socavamiento de puentes y defensas
	toma de agua alcantarillado destruido
	puente "la palanca" destruido
Zona baja	camino ribereño destruido
	muros parcialmente destruidos
	escolleras destruidas
	puente de Linsolés Alto inutilizado
	puente de Linsolés muy dañado
	puente Eriste casi cegado
Zona baja	carretera inundada
	afecciones puntuales en carretera (Arnaldet, Castejón, El Run, Ventamillo, Seira...)
	destrucción de escolleras y motas
	afecciones a gaviones en Villanova
Zona baja	afecciones a pistas forestales cercanas al cauce



Efectos de la crecida en el Plan de Senarta (Benasque). Foto: Daniel Mora



Benasque. Foto: Ángel Sahún.



Puente de Salardú (Arán). Foto: Marta Lluvích.



Vielha (Arán) Foto: Bombers de la Generalitat.



Arties (Arán). Foto: Mercè Gil.



Río Garona (Arán). Foto: Marta Lluvích.



Urbanización Linsolés (Benasque). Foto: Daniel Mora.

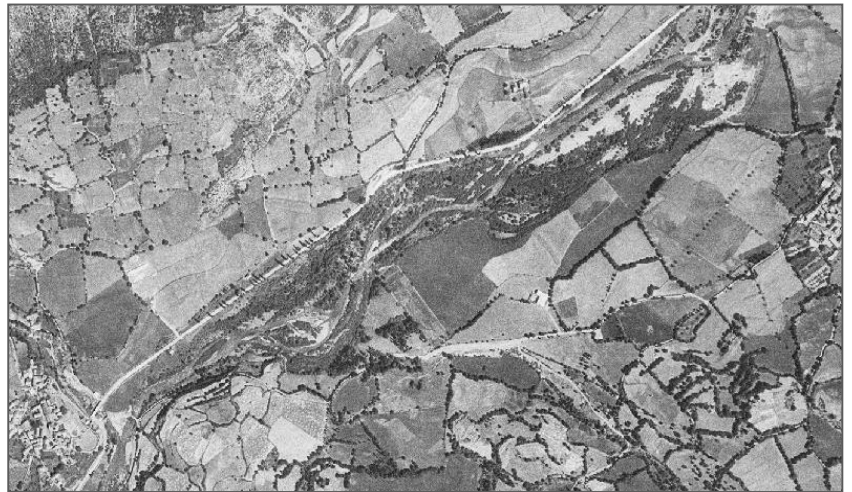
Por tanto, las consecuencias de este evento han sido positivas en cuanto a la reactivación de procesos geomorfológicos fluviales, pero los daños en el medio humano han sido importantes, tanto en vías de comunicación como en usos urbanos. Este hecho pone de manifiesto un problema desarrollado e incrementado progresivamente a lo largo de las últimas décadas: la ocupación del espacio del río o territorio fluvial con usos no compatibles ni con la inundación ni con los procesos naturales de erosión y cambio de trazado de los cauces. A continuación se muestran imágenes aéreas comparativas de 1956 y de 2009 del cauce del Ésera en Benasque, Linsolés y Castejón de Sos. En todas ellas es evidente la ocupación no solo de la llanura de inundación, sino incluso del propio cauce trenzado de mediados del siglo XX. Ante esta situación era previsible y esperable que el río Ésera volviera a ocupar su cauce en una crecida extraordinaria como la acontecida en junio de 2013, e incluso que iniciara procesos erosivos intensos en las márgenes. Muchas defensas existentes, la mayoría de ellas adosadas de forma directa al cauce menor, han sido destruidas o superadas con facilidad, demostrando su nula utilidad frente a eventos de alta intensidad hidrológica.



El núcleo urbano de Benasque ha sufrido un importante crecimiento en las últimas décadas. Como consecuencia se han desarrollado edificaciones muy cercanas al cauce que en el evento se vieron afectadas a causa del desmoronamiento de algunas defensas sobre las que prácticamente se asentaban.

Junto a estas zonas residenciales han proliferado otras edificaciones y espacios de equipamientos dentro de zonas inundables, lo que ha conllevado elevados daños en los mismos pese a la existencia de costosos sistemas de defensa.

Ejemplo claro del proceso urbanizador, en Linsol se ha desarrollado una importante zona residencial ocupando parte del cauce mayor del río. Además, esta urbanización se encuentra en el flanco sur del importante cono de deyección del torrente Remáscaro. La zona sufrió inundaciones en la crecida, además de quedar edificios directamente expuestos a la corriente. La comparativa muestra cómo desde 1956 la regulación de caudales y las presiones por usos antrópicos han conllevado la simplificación del cauce y la reducción de su espacio.





Poco antes de que el río Ésera se confine en el Congosto de Ventamillo, circula dejando en su margen derecha la zona de camping y equipamientos deportivos de Castejón de Sos. Esta zona, como se aprecia en las fotos, se asienta sobre el antiguo cauce del Ésera, de nuevo reduciendo su espacio de movilidad y, como se ha demostrado, pese a los importantes y costosos sistemas de motas y escolleras que se crearon entre la zona de acampada y el río, suponiendo un evidente riesgo para los usuarios de esos equipamientos.



Comparativa aguas abajo de Benasque entre la situación natural inmediatamente posterior a la crecida (arriba) y tras las actuaciones llevadas a cabo 4 meses después del evento (abajo). Fotos: Daniel Mora.



Como en otros eventos recientes, se suscitó un amplio debate científico-técnico sobre el tratamiento post-crecida. Desde ámbitos científicos y ambientalistas (Colegio de Geógrafos y Centro Ibérico de Restauración Fluvial, por ejemplo) se abogó por respetar el trabajo del río durante la avenida, un trabajo de redimensionamiento y autorregulación del cauce para la correcta evacuación de la crecida, considerando

que habría que adaptar los usos humanos ante las nuevas condiciones hidrogeomorfológicas. Sin embargo, diferentes administraciones públicas ejecutaron rápidas obras de emergencia con una importante inversión económica, tratando de reconducir el cauce del río Ésera a una situación lo más próxima posible a la anterior a la crecida. En varios tramos se ha llevado a cabo una sucesión de encauzamientos que fueron realizados sin proyecto y sin control ambiental, alguno de ellos, como el de los Llanos del Hospital, tan incomprensible como innecesario. Desde el ámbito científico y ambiental han sido muy criticadas estas medidas, que están suponiendo un deterioro sin precedentes del cauce, declarado Lugar de Importancia Comunitaria, destruyendo totalmente la naturalidad fluvial, las morfologías de lecho y márgenes y los depósitos sedimentarios recuperados con el evento de crecida.

Con estas actuaciones, contrarias a los principios de las directivas europeas del Agua (2000/60/CE), de Inundaciones (2007/60/CE) y de Impacto Ambiental (2011/92/CE), es muy cuestionable que se reduzca la peligrosidad, mientras se incrementa la falsa sensación de seguridad en la población y se pueden fomentar nuevas actuaciones urbanísticas en áreas de alto riesgo.



En algunos tramos las actuaciones post-crecida han sido más cuidadosas y han tratado de dar más espacio al río teniendo en cuenta las dimensiones del cauce en la imagen aérea de 1956 y apoyándose en la figura del Dominio Público Hidráulico Probable. Este hecho ha supuesto un pequeño avance, aunque ejecutado con maquinaria y siguiendo pautas ingenieriles como dar idénticas dimensiones a todos los tramos o idénticos ángulos de inclinación prediseñados a los taludes, no dejándose al río libre para ir haciendo su trabajo. En suma, fue el río el que con la crecida realizó un trabajo de restauración fluvial, trabajo que ha sido destruido posteriormente por las actuaciones humanas post-crecida.

4.1.10. Oliete 2013

Numerosas localidades enclavadas en la red fluvial de la cordillera Ibérica se encuentran expuestas a crecidas relámpago a raíz de fenómenos tormentosos veraniegos. Uno de los casos recientes es el que afectó a Oliete, así como a las localidades próximas de La Hoz de la Vieja, Ariño, Martín del Río, Albalate del Arzobispo, Josa y Vivel del Río, en la cuenca del río Martín, al N de la provincia de Teruel, en la tarde del 3 de agosto de 2013. La precipitación alcanzó los 70 mm en dos horas, desbordándose diferentes cauces, en especial el río Martín y su afluente el río Seco. Se registró una víctima mortal que fue arrastrada cuando circulaba en coche. Protección civil y el SAIH habían decretado alerta naranja. Hubo sinergias en los pueblos entre la crecida de ríos y barrancos y la propia inundación por precipitación intensa.



Puente de Oliete. Foto: Antonio García.

La alta frecuencia de este tipo de eventos debe hacernos reflexionar sobre la necesidad de contar con protocolos de actuación locales. La información debe llegar a todas las personas y, por precaución, deben evitarse determinadas actividades. Hay que pensar que todos los cursos de agua y todos los núcleos urbanos están expuestos a inundaciones, es un riesgo universal, por lo que hay que estar siempre preparados. Y con la máxima precaución en situaciones de fuertes tormentas estivales con las que puede presentarse una crecida relámpago en cualquier localidad o carretera en menos de 10 minutos.



Río Seco durante la crecida del 3 de agosto de 2013 y 24 horas después. Fotos de J.A. Serrano.

4.2. Impacto y deficiencias de los sistemas de regulación y defensa

La idea de que el riesgo de inundaciones puede ser eliminado mediante infraestructuras y actuaciones en los cauces está muy arraigada en las últimas décadas. Ante cualquier evento de crecida o inundación, la mayor parte de la sociedad afectada demanda más presas, más defensas y encauzamientos y nuevas limpiezas de cauces. Sin embargo, los actuales sistemas humanos de regulación y defensa han mostrado muchas deficiencias en la gestión de crecidas e inundaciones, además de provocar importantes impactos en los ríos y de generar falsa sensación de seguridad en la sociedad.

Numerosos informes científicos y técnicos realizados en todos los países desarrollados demuestran un incremento continuo en las pérdidas económicas generadas por inundaciones, a pesar del incremento de medidas estructurales (presas, diques, escolleras) construidas para intentar controlar las crecidas, lo cual pone de manifiesto con claridad las limitaciones de estos actuales sistemas de defensa. En España el incremento de la capacidad de regulación mediante embalses ha sido muy notable desde mediados del siglo XX, incrementándose de forma paralela el riesgo de inundaciones y los daños por crecidas. Ha sido evidente que a más regulación y defensa más exposición sin reducirse apenas la vulnerabilidad y, por tanto, más daños.

Como se va a detallar a continuación, los actuales sistemas de regulación y defensa contra avenidas, fundamentados en embalses, defensas laterales y dragados y limpiezas, generan graves impactos sobre el río y, en consecuencia, sobre nosotros, y además presentan múltiples deficiencias en su objetivo de reducir inundaciones, como reconoce el propio Real Decreto 903/2010, y requieren costosos mantenimientos. Todo ello recomienda buscar una alternativa, un nuevo sistema de defensa o mitigación, y este es uno de los objetivos de esta guía de buenas prácticas. Existe un consenso científico internacional sobre el hecho de que las situaciones de riesgo en espacios fluviales deben ser mitigadas con ordenación del territorio y reduciendo la exposición, no con obras. Sin embargo, las actuaciones tradicionales siguen siendo fomentadas y son dominantes, en ocasiones por inercia, desconocimiento e insensibilidad, o bien por intereses políticos, económicos, profesionales y mediáticos. En documentos de la propia Administración como el Libro Blanco del Agua en España, publicado por el Ministerio de Medio Ambiente en 1998, se reconoce la crisis de este modelo tradicional de gestión heredado de enfoques decimonónicos, pero la inercia es muy fuerte.

Todas las actuaciones típicas de enfrentamiento contra las crecidas fluviales (regulación, encauzamientos, defensas, limpiezas) generan graves daños en la geomorfología del cauce tanto en el lugar de actuación como aguas abajo como incluso aguas arriba. Los impactos geomorfológicos generados por cualquiera de estas actuaciones son gravísimos, ya que repercuten directa o indirectamente en todo el sistema. Pero muchas actuaciones directas en cauces se realizan sin evaluación de impacto ambiental y en algunas de ellas, aunque se haya procedido a la EIA, se valora como impacto positivo la estabilización del cauce, lo cual es de una incongruencia absoluta, ya que implica la destrucción de la dinámica geomorfológica natural.

4.2.1. Embalses y presas de retención

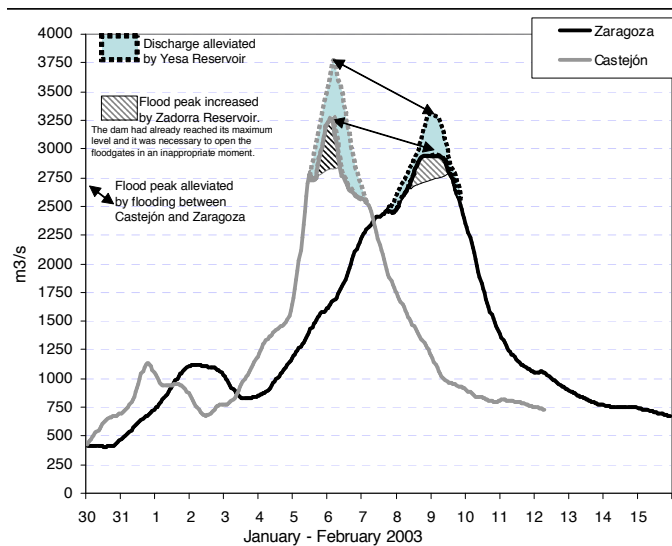
Los múltiples intereses que fomentan la construcción de embalses han pasado, al ser cuestionado en los últimos años el desarrollo de regadíos como “interés general”, a publicitar las presas con el objetivo de la regulación de avenidas como gran beneficio para la sociedad. Ahora bien, la sociedad

no debe caer en el error, sino que debe ser consciente, en primer lugar, de que **las inundaciones “no se solucionan”**, en todo caso pueden mitigarse sus daños y, en segundo lugar, de que la **regulación o laminación de crecidas solo la pueden realizar algunos embalses y en determinadas circunstancias**. La capacidad real para laminación de crecidas de los embalses es diferente en cada momento, por lo que nunca se puede garantizar que la laminación vaya a ser eficaz. **La regulación mediante embalses reduce el número de crecidas, ya que puede limitar o eliminar las pequeñas crecidas, pero su efectividad puede ser nula ante grandes crecidas.**

Es cierto que en las grandes cuencas y en algunas crecidas se puede “jugar” con varios embalses para mantener las crecidas por debajo de unos umbrales de peligro, pero incluso en estos casos se combinan efectos positivos y negativos aguas abajo: se reducen las puntas de caudal, sí, pero se produce una crecida final muy larga y lenta que suele originar inundaciones muy prolongadas que generan más daños en cultivos y zonas anegadas. En el curso medio del río Ebro, por ejemplo, ha ocurrido esto en todas las crecidas recientes.

El caso de la avenida del Ebro de febrero 2003 y los embalses de Yesa y Zadorra

Como puede observarse en el hidrograma, en la crecida del Ebro de febrero de 2003 el embalse de Yesa sí tuvo capacidad para laminar caudales, reduciendo la punta de crecida (superficie azul). Sin embargo, el embalse del Zadorra estaba totalmente lleno y fue necesario su desembalse en el peor momento, coincidiendo la crecida provocada en el río Zadorra con la que venía del alto Ebro. Este incremento provocado por el desembalse se ha representado en la superficie rallada. Por tanto, el papel de los embalses en aquel evento no fue del todo efectivo. También se puede visualizar en la gráfica mediante las flechas la reducción de caudal punta entre Castejón y Zaragoza gracias al propio desbordamiento en la llanura de inundación del Ebro. He aquí el mejor embalse de regulación, el que el propio río ha diseñado, su llanura de inundación en la que el agua se expande y se almacena reduciéndose considerablemente la energía de la crecida.



En suma, la sensación de seguridad frente a las inundaciones que aportan los embalses de regulación es falsa y normalmente lleva a consecuencias peligrosas de exceso de confianza, incrementándose la exposición.

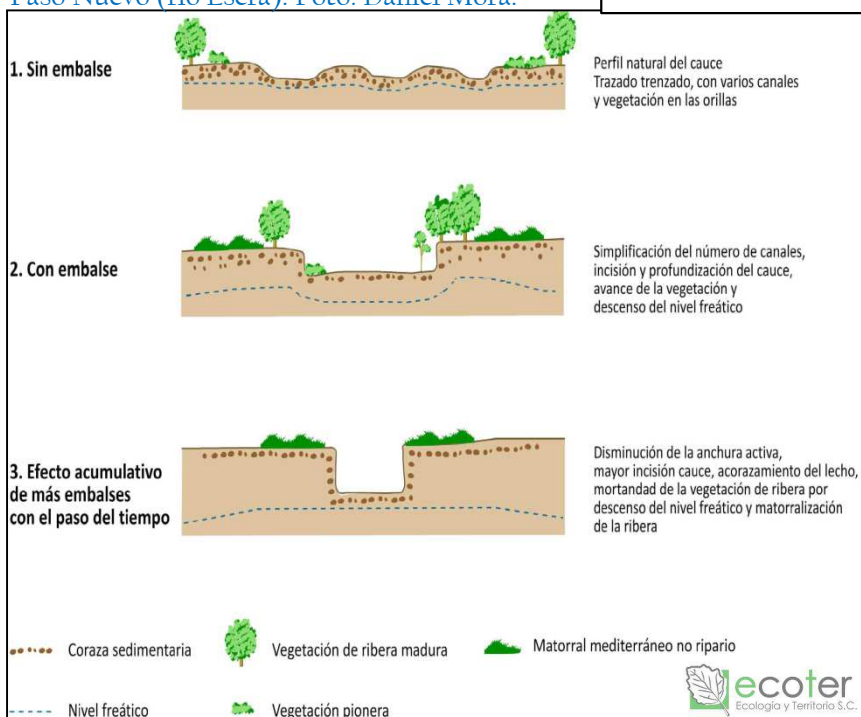
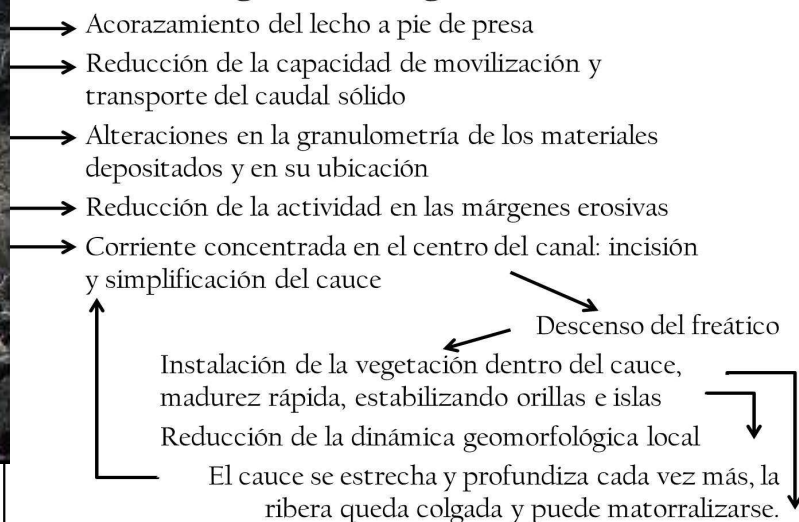
Tampoco hay que olvidar los **enormes impactos que los embalses generan en el sistema fluvial, alteraciones muy severas y progresivas en el tiempo, tanto en la zona directamente afectada como en todo el curso aguas abajo de la presa e incluso en las zonas litorales de influencia fluvial**. Así, la laminación de las avenidas pequeñas, ordinarias, que los embalses sí permiten, supone una alteración muy relevante en el régimen natural de caudales con repercusiones notables y continuas en el ecosistema fluvial aguas abajo de los mismos. La dinámica geomorfológica, que define las dimensiones del cauce y los procesos de erosión, transporte y sedimentación, es drásticamente alterada. Y con ello desaparecen todos los beneficios que nos aportan las crecidas (apartado 1.3) y el ecosistema fluvial se deteriora en su conjunto, agravándose los daños a lo largo del tiempo. Se producen **efectos geomorfológicos** como los que se recogen en la siguiente tabla y en el esquema, consecuencias que empiezan a ser evidentes aguas abajo de muchos embalses

construidos en las décadas de los 60 y 70 del siglo XX. Estas alteraciones geomorfológicas inciden negativamente en el riesgo, ya que modifican las líneas de flujo y pueden incrementar la peligrosidad de los procesos de crecida e inundación. Por ejemplo, la incisión concentrará la energía en crecida en menor anchura del cauce, presionando con mayor fuerza las orillas, por lo que pueden derivarse más intensos procesos de erosión.



Acorazamiento en bloques al pie del embalse de Paso Nuevo (río Ésera). Foto: Daniel Mora.

Efectos geomorfológicos de los embalses



A estos efectos geomorfológicos hay que añadir **importantes consecuencias ecológicas**. La alteración del flujo líquido y sólido del río modifica los ciclos biogeoquímicos y la estructura y dinámica de los hábitats acuáticos y riparios. La modificación de la temperatura del agua tiene gran influencia sobre las tasas energéticas y biológicas de los organismos acuáticos. La creación de barreras al movimiento longitudinal a través del río, tanto de organismos como de nutrientes, dificultan los intercambios bióticos.

Estas alteraciones provocan importantes efectos sobre la ecología del sistema a distintas escalas espaciales y temporales. Los embalses alteran también el régimen de estiajes, lo cual genera consecuencias también negativas.

En la siguiente imagen del soto de Cantalobos (río Ebro, Zaragoza) se observan las consecuencias de la regulación, como en tantos bosques de ribera de nuestros ríos principales. La ausencia durante años de crecidas ordinarias ha provocado un descenso del freático que genera sequía en el soto maduro (detrás). Mientras, las gravas no movilizadas han sido colonizadas por una vegetación excesiva (primer término) que fija el cauce y provoca incisión, contribuyendo al descenso del freático generalizado que afecta al conjunto del soto.



Las **presas de retención de sedimentos** que abundan en muchas áreas montañosas desde los intensos trabajos de ordenación forestal llevados a cabo a mediados del siglo XX generan en los cursos fluviales impactos geomorfológicos similares a los de los embalses, aunque más locales, ya que alteran el transporte de sedimentos pero no la hidrología. **Los efectos principales aguas abajo son incisión e inestabilización de las orillas.** Cada presa supone una ruptura de pendiente con efectos de cavitación en el proceso de crecida. Además en general provocan déficits sedimentarios, ya que retienen importantes cantidades que, en caso de colapso de la presa, incrementarán la crecida, como ocurrió en el barranco de Arás.

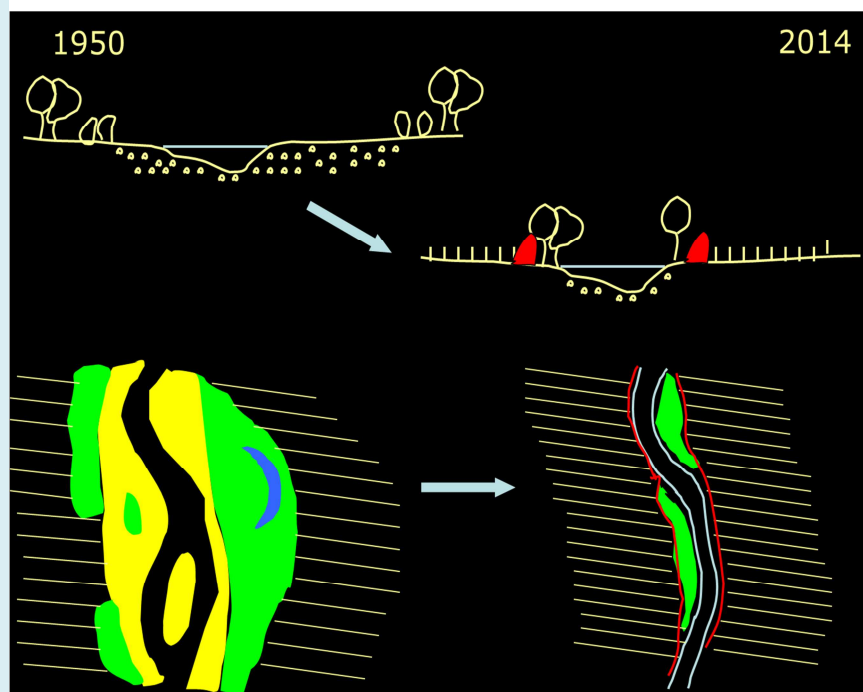


Presa de retención de sedimentos en el río Aurín, construida en 1963. En la segunda foto se observa la incisión de más de 2 m registrada unos 100 m aguas abajo.

4.2.2. Defensas y canalizaciones

Las **motas** (diques elevados de tierra compactada) desconectan al río de su llanura de inundación y de los humedales ribereños (sotos, galachos, carrizales...). Su papel es impedir que la corriente entre en la llanura de inundación. Han ido asociadas en muchas ocasiones en las últimas décadas a la ocupación del espacio fluvial por terrenos agrícolas que han invadido el dominio público hidráulico teórico o probable (no deslindado) con la excusa catastral de que el límite de muchas propiedades es “el río” (sin mayor definición).

El trazado de estas infraestructuras consolidando los cultivos tras ellas ha llevado a la reducción drástica de la extensión del ecosistema fluvial, relegado al espacio “entre motas” como se observa en la siguiente figura, que muestra de forma esquemática el proceso de estrechamiento fluvial acontecido en la mayoría de nuestros ríos desde mediados del siglo XX.



Estas defensas son muy poco efectivas, ya que el agua se filtra o bien se produce la inundación de los terrenos desde el freático. Tras cada crecida hay roturas en las motas, que requieren un mantenimiento continuo y costoso.

En ocasiones hay que romper diques para que el agua, pasada la crecida, pueda regresar con mayor rapidez al cauce. En muchos tramos tienen efectos contraproducentes al elevarse el nivel de la crecida entre los diques, de manera que se incrementa la presión sobre el freático o bien se traslada la energía a sectores no defendidos.

A pesar de su escasa efectividad y elevado coste, las motas siguen siendo el sistema de defensa principal en los tramos fluviales de llanura.

La construcción de **escolleras** en las orillas erosivas tiene como objetivo impedir esa erosión, que es un proceso fundamental para la supervivencia del río y sus ecosistemas asociados. Así, las escolleras reducen el aporte de sedimentos al cauce, con todas las consecuencias negativas que esto supone. Conducen la energía de la corriente a tramos no defendidos aguas abajo o enfrente, o bien contra el fondo del lecho. Estas alteraciones generan a corto plazo incisión y perturbaciones en los rápidos y otras morfologías de fondo. Eliminan la dinámica de meandros, con numerosas consecuencias entre las que podemos destacar el progresivo envejecimiento de los sotos por falta de renovación y su reducción a estrecha franja. También eliminan los taludes imprescindibles para la nidificación de múltiples especies de aves fluviales (avión zapador, abejaruco, martín pescador...). Las escolleras son descalzadas con frecuencia en crecidas, por lo que su mantenimiento suele ser también costoso.

A pesar de todo ello, cada vez hay más orillas defendidas con escolleras, cada vez son más verticales y cada vez con bloques de piedra más grandes, como se observa en estos ejemplos.



Río Huerva en Cuarte (Zaragoza)



Río Gállego en Montañana (Zaragoza)



Bco. de la Torcida, Vilas de Turbón (Huesca)
Foto de Mariano Ferrer, revista Foresta nº 43-44.



Escollera incomprensible en unos sauces del río Basa
cerca de Sabinánigo (Huesca)

Los **encauzamientos y canalizaciones** del cauce entre muros de hormigón o escollero cemento provoca todos los impactos descritos para motas y escolleras en su máxima expresión. Además suele ir acompañado de la simplificación del trazado para hacerlo más recto y del estrechamiento del cauce. Son ríos totalmente transformados en canales.



Encauzamiento escalonado en Liri (Huesca).
Foto de Mariano Ferrer, revista Foresta nº 43-44.



Ilustración de Andrés Rábago "El Roto"



Río Arba de Biel en Ejea de los Caballeros



Río Herrera en Herrera de los Navarros

Con todas estas actuaciones se estrecha el cauce efectivo, lo cual incrementa la energía en crecida y reduce el área de movilización y deposición sedimentaria. Lo primero aumenta el riesgo de producir mayores daños allí donde se rompa una defensa o allí donde se termine la canalización.



Lo segundo provoca una elevación o acreción del cauce, que se compensa en algunos puntos por la incisión que provocan las escolleras, pero que en otros puede facilitar el desbordamiento. En definitiva, los efectos secundarios pueden originar daños más graves que los que se trataban de paliar.

El problema, por tanto, es que con este tipo de actuaciones se hace todo lo contrario de lo que dictaría el sentido común, que es imitar al río. En lugar de adaptarnos a los sistemas de autorregulación que pacientemente ha ido diseñando el río, nos enfrentamos directamente contra ellos. El desbordamiento, la inundación, son mecanismos del río para perder energía y reducir él mismo la crecida. Lo lógico, por tanto, no es estrechar el cauce, sino precisamente ensancharlo, darle mayor espacio y libertad para que distribuya mejor su energía y los materiales movilizados.

Río Vinalopó en Elche

4.2.3. Dragados y limpiezas

Los dragados se han considerado en muchos casos como actuaciones sin coste, equiparándolos a las extracciones de áridos en las proximidades de los cauces. Para paliar los efectos de las inundaciones su efectividad es muy baja y solo temporal, hasta la siguiente crecida.

Sus consecuencias son muy negativas. Modifican la geomorfología del fondo y los caracteres hidráulicos del tramo, generando erosión remontante, incisión o encajamiento del lecho, acorazamiento, irregularización de los fondos, inestabilización de orillas, descenso del freático (con graves consecuencias sobre la vegetación y sobre el abastecimiento desde pozos), descalzamiento de puentes, escolleras y otras estructuras, efectos en desembocaduras, déficit sedimentario en el río y en el litoral, etc. Afectan directamente a la fauna bentónica e hiporreica, en muchos casos especies protegidas y en peligro de extinción. Pueden conllevar la desaparición de hábitats y en ocasiones llegan a eliminarse islas.

Los dragados suelen acompañarse de “limpiezas”, entendiéndose como tales no la eliminación de basura, sino la retirada de la madera muerta acumulada durante las crecidas e incluso la tala de vegetación viva. Ambos aspectos suponen un grave deterioro ecológico con reducción de hábitats para la fauna, que necesita de la vegetación viva y muerta para alimentarse, esconderse o nidificar.



El objetivo de dragados y “limpiezas” es conseguir mayor capacidad de desagüe, pero este logro solo es temporal y puede ser muy breve. Si el río tiende a depositar en la zona dragada lo volverá a hacer en el siguiente episodio de aguas altas, y lo puede hacer antes o en las primeras horas de la siguiente crecida, con lo que la medida no habrá servido para nada. Del mismo modo, si se limpia o elimina la vegetación pero las condiciones de la cuenca (principalmente regulación y nutrientes) favorecen el desarrollo de vegetación en el cauce, la vegetación volverá a colonizar con notable rapidez.

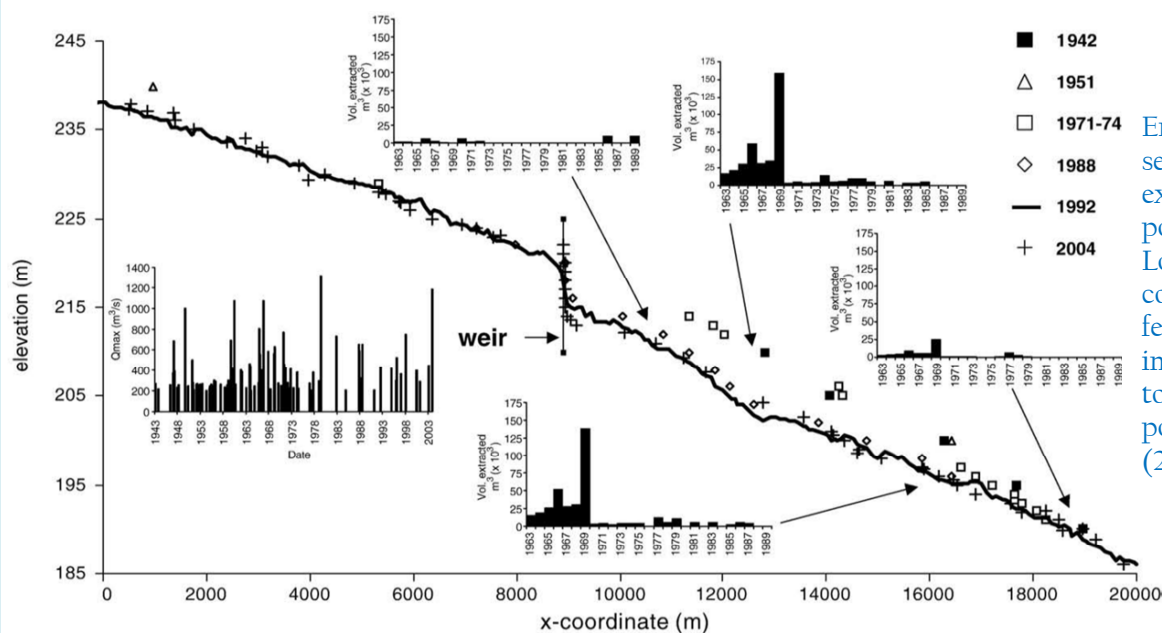
Por ejemplo, en las siguientes imágenes se observa una barra de sedimentos en Cabañas de Ebro dragada en 2010. Las dos primeras fotos muestran la barra antes y después del dragado. La tercera imagen muestra la barra aún en aguas altas después de la crecida de 2013, observándose una nueva masa de sedimentos limpios, recién colocados por el río, en el centro de la foto.



Hay que tener además en cuenta que, en ríos medianos y grandes, la cantidad de agua que circula en crecida por la parte que se ha dragado es mínima, tratándose de una parte de la sección en la que el agua invierte su esfuerzo en movilizar sedimentos más que en transportar el caudal hídrico.

Así, el aumento real de la capacidad de desagüe es mínimo o despreciable. Por ejemplo, en el río Ebro, si se dragara rebajando un metro el fondo del lecho en el cauce menor, para una crecida de $2.000 \text{ m}^3/\text{s}$ y teniendo en cuenta el campo de velocidades, tan solo bajaría el nivel del agua unos 8 centímetros en la misma sección dragada.

En un estudio realizado en el curso bajo del río Gállego se comparó la topografía actual del cauce con la recogida en mapas y proyectos antiguos, demostrándose un incisión de entre 3 y 7 m de profundidad en un importante tramo del río (entre Urdán y Montañana) como consecuencia de las extracciones de áridos realizadas en los años 60 del siglo XX (ver figura). Las consecuencias de dichas extracciones se dejaron notar al aparecer orillas escarpadas tanto en el tramo donde se realizaron como sobre todo aguas arriba por erosión remontante.



En las gráficas se señalan las extracciones de gravas por años en cada zona. Los puntos del perfil corresponden a varias fechas con información topográfica. Publicado por Martin Vide et al. (2010).

En suma, los daños pueden ser mucho más costosos que los bienes que se trataba de defender con la “limpieza” o dragado. Así que limpiar y perfilar un cauce es una medida poco inteligente y poco efectiva que no soporta un análisis coste-beneficio, no reduce en absoluto el riesgo y puede generar consecuencias negativas.

Entonces, ¿por qué se hacen dragados y limpiezas? Pues por inercia, por tradición, por desconocimiento de la dinámica fluvial, por insensibilidad hacia los sedimentos, por negligencia y falta de interés por buscar alternativas y, sobre todo, por intereses económicos. ¿Y por qué hay un consenso social popular tan asentado de que “hay que limpiar los cauces para evitar riadas”?



Incisión provocada por extracciones de gravas en el río Belagua (Navarra). Foto: Askoa Ibisate.

Porque es una tradición de cuando nuestros abuelos cogían piedras y leña de los cauces para sus labores cotidianas, y la “limpieza” de los ríos se mitificó como la limpieza de los montes. Al final, estas actuaciones se realizan porque son demandadas con tanta frecuencia e intensidad por los afectados que se terminan ejecutando a modo de efecto placebo para contentarles. Pero realmente no existe ningún estudio científico serio que las respalde. El verdadero trabajo de limpieza lo realiza el río en cada crecida, distribuyendo y clasificando los sedimentos, renovando y ordenando la vegetación, eliminando invasoras.

4.3. Problemas de percepción, actuaciones de emergencia y falsa seguridad

En las sociedades actuales **no existe una correcta percepción del riesgo, por lo que se hace necesaria y urgente una educación ambiental para la convivencia con la peligrosidad natural.** Esta deficitaria cultura del riesgo no es exclusiva de nuestro país, sino que ha sido denunciada también en otros. En Francia, por ejemplo, estudios recientes llaman la atención sobre la fe absoluta de las poblaciones ribereñas en las soluciones estructurales. En una encuesta realizada en el río Aude en 2005, los ribereños culpabilizaban de las inundaciones al aumento de sedimentos y de vegetación en los cauces y a la negligencia en su mantenimiento, opiniones idénticas a las de los ribereños del río Ebro, por ejemplo. Esto ocurre porque **se carece de una cultura del riesgo real, solo existe una cultura del peligro que no considera la responsabilidad de asentarse en zonas de riesgo.** A ello se une el desconocimiento generalizado sobre el funcionamiento de los ríos y sobre los beneficios de las crecidas, que nunca son tenidos en cuenta en los canales divulgativos habituales.

A esta percepción errónea contribuye también en gran medida la promesa y cumplimiento por parte de los poderes políticos, apoyados en los medios de comunicación, de **soluciones inmediatas a cada evento de crecida e inundación para devolver al río a la situación anterior al mismo.** Esta inmediatez, que encierra numerosos problemas, se percibe de forma positiva por la sociedad afectada, que puede seguir creyendo erróneamente que lo negativo es el peligro (el río) y no su situación de riesgo (su exposición), que ya será solventada cada vez de la misma manera. Es lo que Francisco J. Ayala llamaba muy acertadamente el “paternalismo hidráulico del Estado-Providencia”, causante de la inexistencia de una cultura de auto-responsabilización ante el riesgo.

Con estas actuaciones, llamadas generalmente “obras de emergencia tras avenidas”, se **consolida la situación de riesgo.** No buscan soluciones a medio y largo plazo, sino el simple parcheo, la corrección inmediata de lo que ha pretendido el río en la última crecida, la vuelta a la estabilidad, aunque esta sea forzada y el río vuelva a romperla en la siguiente ocasión. La actuación



Dragado tras la crecida de 2012 en el río Aragón en Puente la Reina de Jaca. Foto: J. Piedrafita.

de emergencia típica consiste en la introducción de maquinaria en el cauce para reconducirlo y para aumentar o consolidar la capacidad de desagüe, extrayendo sedimentos del fondo y apelmazándolos en las márgenes, desnaturalizando por completo el río, sin estudio previo, sin proyecto, sin planificación, sin evaluación de impacto y generalmente sin sensibilidad ambiental. En España es una práctica muy extendida, con importantes presupuestos anuales y equipos de trabajo específicos, de la que se pueden

ver sus efectos en cualquier cauce. Generalmente resultan prácticas contraproducentes, por cuanto nuevos caudales altos movilizan otra vez los materiales generando a veces efectos no esperados. En muchos ríos pirenaicos ha supuesto la destrucción de cauces trenzados que constituían un patrimonio fluvial único.

Las actuaciones de emergencia post-crecida constituyen una gestión del riesgo inadecuada y poco prudente, ya que no tienen en cuenta los claros mensajes del río en la crecida. Constituyen una

intervención frontal contra la dinámica fluvial, pensando solo a corto plazo. Lógicamente, estas actuaciones constituyen una invitación a prolongar la situación, a que se siga igual en los espacios en riesgo, sin adaptación ni resiliencia.



Efectos en el río Sieste (Sobrarbe, Huesca) de una actuación de emergencia tras una crecida en 2001.

Es así, como efecto de embalses de regulación, defensas generalizadas y actuaciones de emergencia post-crecida, como se consolida la falsa sensación de seguridad, una percepción muy común. Estudiada por sociólogos y psicólogos, en líneas generales consiste en olvidar o menospreciar las situaciones de riesgo en que la población vive, creyendo que el



Otra imagen del río Sieste. Se ha excavado en el lecho y acumulado material en las orillas.

aumento de las posibilidades económicas, las obras públicas y las mejoras técnicas controlan la naturaleza y otorgan salvaguarda plena ante los peligros naturales. De ahí que cuando hay daños éstos se estimen provocados por una naturaleza problemática, sin caer en la cuenta de que justamente la búsqueda del progreso colectivo es la que no respeta sino que rompe las reglas de aquélla. La falsa seguridad es muchas veces propugnada o favorecida por los poderes económicos y los medios de comunicación para poder desarrollar proyectos especulativos.

La falsa sensación de seguridad generada por embalses, defensas y obras de emergencia incrementa el riesgo, ya que anima a la población a entrar más en el espacio del río, elevándose la exposición y la vulnerabilidad local. Precisamente por ello, y como ha quedado demostrado en numerosos estudios e investigaciones en diferentes países y cuencas hidrográficas, cuanto más dinero se ha invertido en obras de defensa frente a inundaciones (canalizaciones, escolleras, presas, dragados y actuaciones de emergencia post-crecida), más se han incrementado finalmente los daños económicos y el propio riesgo en las siguientes crecidas.

La falsa sensación de seguridad choca con el principio de prudencia o precaución. Aunque haya embalses aguas arriba, éstos pueden estar llenos cuando llegue la gran crecida, aunque haya defensas éstas pueden fallar o romperse, aunque se haya reconducido y dragado el río con las últimas obras de emergencia, lo más probable es que en la siguiente crecida el río vuelva a luchar por su libertad y coloque de nuevo los sedimentos en su sitio. No puede confiarse en una gestión del riesgo asentada en la regulación, la defensa frontal y la solución de emergencia. Individual y colectivamente, la sensación de seguridad es imprudencia, lo prudente sería la adaptación de nuestra actividad al río, o bien abandonar el espacio en riesgo.

5 Buenas prácticas para la gestión de inundaciones

5.1. Bases para una nueva gestión

La principal finalidad de la presente guía es animar a un cambio en el enfoque y en la búsqueda de soluciones para mitigar el riesgo de inundaciones (prioritariamente de origen fluvial), es decir, un cambio en los sistemas de gestión. Este cambio se asienta en unas bases simples que se pueden resumir en **conocimiento del río y sentido común**. A partir de ahí se pueden derivar acciones concretas en forma de buenas prácticas.

Consideramos que una determinada medida o propuesta **es buena práctica cuando es útil en la gestión de inundaciones además de sostenible contribuyendo a la mejora ambiental del espacio fluvial**.

5.1.1. Una nueva visión

A lo largo de las últimas décadas la gestión de los riesgos de inundación ha ido evolucionando, en nuestro país y en los de nuestro entorno, desde el uso dominante de medidas estructurales hacia nuevos modelos de gestión integrada, aunque estos son todavía incompletos y quedan abundantes inercias de las concepciones tradicionales.

El avance claro en un nuevo enfoque se manifiesta en el Real Decreto 903/2010, que insiste en que “el enfoque tradicional consistente en plantear y ejecutar soluciones estructurales, como la construcción de presas, encauzamientos y diques de protección, se ha revelado en determinados casos insuficiente, por lo que ha sido complementado en las últimas décadas con **actuaciones no estructurales, tales como planes de protección civil, implantación de sistemas de alerta y medidas de ordenación del territorio, para atenuar las posibles consecuencias de las inundaciones. Este último tipo de actuaciones son menos costosas económicamente y a la vez menos agresivas medioambientalmente.**”

Hay que destacar también los importantes avances normativos y de cartografía preventiva en los últimos años, que avalan la posición clara que habían presentado los científicos y restauradores fluviales. Destaca la **actualización del reglamento del Dominio Público Hidráulico (RD 9/2008 de 11 de enero)** con la introducción de criterios geomorfológicos e históricos para definir los cauces naturales y las áreas inundables y con el reconocimiento de que este D.P.H. cumple funciones ambientales, de protección de los ecosistemas fluviales y de prevención de inundaciones.

Ahora bien, a pesar de estos avances en información y teóricos, la buena intención de buscar soluciones alternativas a las obras tradicionales de regulación y defensa se ha quedado en buena medida en el papel y no se ha puesto apenas en práctica. **La implementación de medidas de ordenación del territorio está resultando complicada y con resultados escasos. Pero además, en absoluto se están abandonando las prácticas tradicionales, para las que sigue existiendo mucha demanda e importantes presupuestos,** de manera que las defensas y canalizaciones

siguen proliferando. El sistema de actuaciones-tipo de emergencia post-crecida consolida claramente esta situación, no teniéndose en cuenta que es poco práctica y muy dañina para los sistemas fluviales. En líneas generales se puede afirmar que las defensas en los cauces fluviales suponen a medio y largo plazo una inversión económica netamente superior a los daños que trataban de paliar. Estas soluciones tradicionales no solo generan graves impactos ambientales, sino que son insostenibles económicamente. Pero lo peor es que provocan un deterioro progresivo de la situación y un incremento del riesgo, que hace reclamar más soluciones, a modo de “pescadilla que se muerde la cola”, como se representa en el siguiente esquema.



Por tanto, las problemáticas ambiental y de riesgos van claramente unidas. O frenamos esta espiral con restauración ambiental y con medidas no estructurales de mitigación, o la espiral seguirá creciendo sin fin.

Está claro que seguimos recorriendo un camino, lento y tortuoso, pero que debe llevarnos hacia una nueva visión aplicable a la gestión del riesgo. Diferentes eventos de inundación dramáticos en Europa en las dos últimas décadas, con notables repercusiones políticas, sociales y ambientales, han espolcado los avances, favoreciendo la adopción de visiones más integradoras, que reconocen la complejidad de los fenómenos de inundación, y que abogan, como mínimo, por la combinación de diferentes tipos de medidas de protección y ordenación del territorio. Los siguientes esquemas teóricos de Paul Sayers y colaboradores en *Flood risk management, a strategic approach* (2013) ilustran sobre esta evolución en el cambio de visión y centran el nuevo paradigma.



Sayers et al. (2013) presentan esta evolución histórica en la aproximación humana a las inundaciones. Los últimos pasos son importantes: de intentar controlar a mitigar y a gestionar el riesgo.



En el mismo trabajo, *Flood risk management, a strategic approach*, se establecen nueve reglas de oro que se deberían ir implantando en la gestión de riesgos:

1. Aceptar que la protección no puede ser absoluta y podrá haber accidentes, que cierto grado de fracaso es inevitable, porque pueden fallar estructuras, sistemas de alerta temprana y planes de evacuación.
2. Permitir y promover inundaciones en todos los espacios donde sea posible, porque son beneficiosas y pueden reducir el peligro en otros sectores.
3. Basar las decisiones en el conocimiento del río, del riesgo y de la incertidumbre. Esta última es positiva, porque llevará a mayor prudencia.
4. Reconocer que el futuro será diferente al pasado, que la gestión del riesgo no puede basarse solo en los antecedentes, porque el sistema natural y la sociedad van a ir cambiando. Son necesarias estrategias de adaptación, tratando de planificar de cara al futuro.
5. Implementar un conjunto de propuestas integradas, nunca una sola medida. Pensar en todas las soluciones factibles.
6. Utilizar los recursos limitados de manera eficiente y justa para reducir el riesgo. Los estándares universales de la ingeniería civil no se deberían utilizar.
7. Hay que ser claro en las responsabilidades sobre la gobernanza y la acción. Los gobiernos, las empresas, las comunidades y las personas deben ser participantes activos en la gestión del riesgo, compartiendo responsabilidad y apoyo económico.
8. Comunicar el riesgo y la incertidumbre eficaz y ampliamente. Es una ayuda fundamental a las medidas de mitigación. Comunicar el riesgo después de un desastre es demasiado tarde.
9. Tener en cuenta el contexto local e integrar la gestión del riesgo con otros procesos de planificación. La estrategia para cada localidad debe ser específica y los niveles de protección no deben ser arbitrarios ni generales.

A nivel internacional y a partir de las conclusiones del examen de la Estrategia de Yokohama y basándose en las deliberaciones de la Conferencia Mundial sobre la Reducción de los Desastres, en particular el resultado previsto y los objetivos estratégicos acordados, dicha Conferencia adoptó las cinco prioridades de acción siguientes:

1. Velar por que la reducción de los riesgos de desastre constituya una prioridad nacional y local dotada de una sólida base institucional de aplicación.
2. Identificar, evaluar y vigilar los riesgos de desastre y potenciar la alerta temprana.

3. Utilizar los conocimientos, las innovaciones y la educación para crear una **cultura de seguridad y de resiliencia** a todos los niveles.
4. **Reducir los factores de riesgo subyacentes.**
5. **Fortalecer la preparación** para casos de desastre a fin de asegurar una respuesta eficaz a todos los niveles.

5.1.2. No luchar contra las inundaciones

Las inundaciones son necesarias y beneficiosas y son utilizadas por el río para autorregularse y reducir su energía en crecida. Por tanto, no debemos tratar de evitarlas, ya que el río nos está ayudando con ellas. Por la misma razón, tampoco tenemos que cambiar la morfología del río, que se ha autoconstruido para conducir correctamente sus crecidas, y tendremos que respetar las dimensiones de la llanura de inundación.

El viejo paradigma de la ingeniería tradicional extendido a lo largo del siglo XX pretendía dominar al río, domesticarlo. Las crecidas se consideraban caprichos reincidentes de la naturaleza que había que atajar a toda costa. Las inundaciones ya no aportaban fertilidad, solo daños. Las técnicas progresaron para luchar contra las inundaciones: obras de defensa cada vez más potentes y continuas, canalizaciones completas si era posible y dragados y limpiezas frecuentes para mantener la capacidad de desagüe. El sistema era efectivo a corto plazo (hasta la siguiente crecida), pero de costoso mantenimiento (cada crecida “pone las cosas en su sitio”) y a medio y largo plazo condenado al fracaso. La gestión de las inundaciones no puede seguir basándose en este tipo de actuaciones repetitivas, pero aún sigue siendo así en la mayor parte de los casos.

En el cambio de mentalidad **es necesario y urgente dejar de luchar contra las inundaciones.** Puede parecer arriesgado pero, muy al contrario, **es lo más prudente, lo más efectivo, lo más barato y lo que nos proporciona resiliencia y seguridad mirando al futuro.** Supone **adaptación, es decir, inteligencia y sentido común.** Porque lo inteligente es considerar crecidas e inundaciones como procesos naturales que no pueden ni deben evitarse. Enfrentarse frontalmente al río no es inteligente.

Los geomorfólogos ingleses Peter Downs y Ken Gregory explicaban muy bien este camino de cambio necesario: del paradigma “la tecnología puede fijarlo” a “trabajando con el río en lugar de contra él” y, por último, “dejar al río hacer el trabajo”. En efecto, es el mismo río el que regula las inundaciones y cuanto más libre le dejemos, mejor.

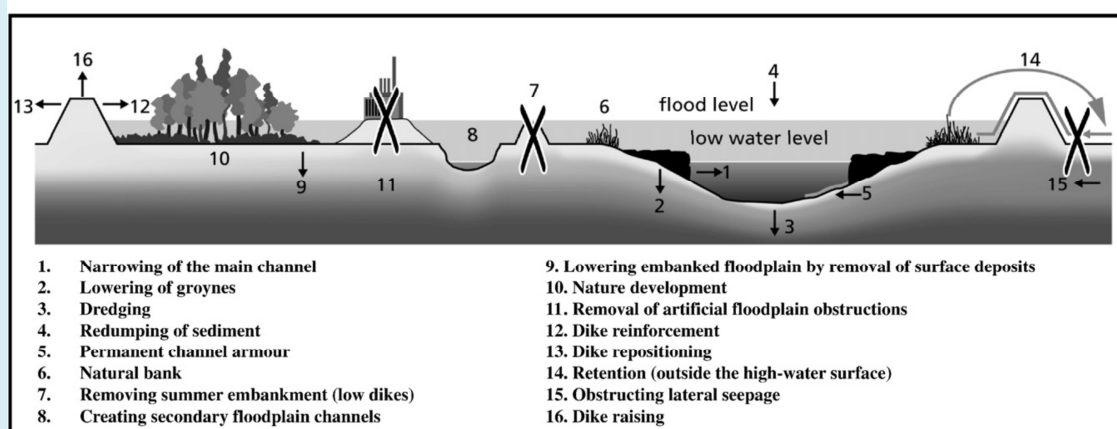
5.1.3. Respetar las llanuras de inundación

Sobre las llanuras de inundación y espacios inundables hay, en general, una importante desinformación, de manera que muchas veces se observan reacciones de sorpresa y estupor cuando las áreas inundables se inundan, siendo lo que tiene que ocurrir en ellas.

Las llanuras de inundación son clave en la gestión eficiente de las inundaciones. **El espacio inundable debe ser funcional para el río, es decir, debe estar preparado para inundarse.** Por eso la Directiva europea de inundaciones recomienda **respetar, conservar y, cuando sea posible, recuperar las zonas inundables,** para que sigan sirviendo para esa función de amortiguar y ralentizar la fuerza de las crecidas y de retener y controlar el agua desbordada. Una llanura de inundación conectada con el cauce, libre y sin obstáculos internos, ejercerá sin problemas su

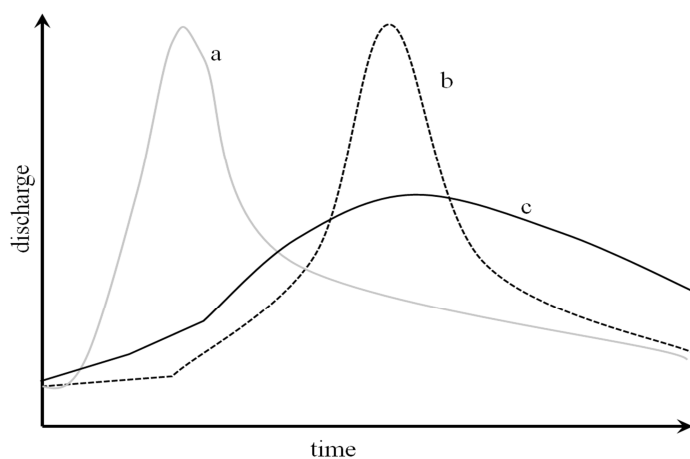
función de disipación de energía (fuerza de arrastre), ralentización del flujo (velocidad de la corriente), almacenamiento temporal de agua y acumulación selectiva de sedimentos. Una buena gestión del riesgo de inundación es ayudar al río e imitarlo. Por tanto, las principales buenas prácticas en gestión de inundaciones están basadas en que las llanuras de inundación sean funcionales, en que el río tenga el mayor espacio posible para desbordarse y que el territorio esté bien ordenado dentro del espacio inundable. Lo idóneo es que la llanura de inundación no esté defendida con motas o diques, precisamente para permitir que se inunde y de esa manera la crecida vaya reduciendo su intensidad aguas abajo.

Eso sí, tenemos el problema de muchas situaciones heredadas, de áreas de inundación ocupadas por núcleos de población o infraestructuras estratégicas. Es evidente que ahí no se puede alcanzar la buena gestión y habrá que recurrir a mecanismos de protección. Es un problema porque estos mecanismos alterarán la dinámica del río e incrementarán el riesgo en otras áreas. La ordenación del territorio deberá contar también aquí con un papel fundamental.



Modelo "Room for the Rhine" de Middelkoop y Van Haselen (1999)

Tres escenarios de crecida en función de la disponibilidad de la llanura de inundación: a) hidrograma para un río canalizado (crecida rápida y peligrosa); b) el caudal ha sido retrasado por un embalse de cabecera, se ha ganado tiempo pero no se ha reducido la intensidad; c) el desbordamiento en la llanura de inundación ha permitido reducir la punta y ralentizar todo el proceso (adaptado de Blackwell y Maltby, 2006)



Respetar las llanuras de inundación implica devolver espacio al río, como se propondrá en las buenas prácticas. Conseguir un territorio fluvial, devolviendo espacio al río y dejando libres los tramos no urbanos de las llanuras de inundación, constituye una buena práctica en gestión de inundaciones, ya que favorecerá los procesos de laminación y, al contribuir a naturalizar el cauce, permitirá también que en éste circulen de forma más eficiente las crecidas.

Pero en la situación actual las dificultades son considerables, por la elevada presión económica y urbanística sobre los fondos de valle, la lenta e incompleta implementación de las directivas, las deficiencias normativas sobre espacios públicos y el consolidado proteccionismo con la propiedad

privada. He aquí uno de los más importantes retos, quizás el principal, de una buena gestión de inundaciones.

Paralelamente al paradigma científico del **espacio para el río o territorio fluvial**, en ámbitos administrativos europeos se están fomentando **medidas de retención natural del agua** (*Natural Water Retention Measures*).

5.1.4. Conocer bien el río y conservarlo tal como es

Como hemos ido viendo, los cauces y sus morfologías de detalle son así y deben ser así, porque están contruidos y dimensionados por el propio río, y **el propio río se autorregula y funciona de forma eficiente en respuesta a cada crecida que vive**. En consecuencia, **debemos conservar los ríos tal y como son y, si están alterados, debemos proceder a su restauración**. Conservación y restauración fluvial son las primeras medidas efectivas en la gestión de inundaciones. Los proyectos de restauración de ríos en los países más avanzados demuestran que son prácticas excelentes para dicha gestión.

Para lograr estos objetivos es imprescindible **conocer bien el río, saber cómo funciona en cada momento y en cada lugar**. Ello permitirá diagnosticar qué está bien (para conservarlo) y qué problemas presenta (para corregirlos).



Río Cinca. Foto: Alejandro Serrano

Conocer bien el río y quererlo conservar y mejorar implica también **respetarlo tal como es, guste o no a la población**, esté o no acorde con las modas estéticas. Esto es importante y más grave de lo que parece. Existe una percepción general, demostrada tanto en encuestas como en actuaciones de “embellecimiento” al uso, que valora positivamente que los ríos lleven agua (cuando algunos cursos no la llevan casi nunca, y son así) y que no se

vean sus sedimentos ni los restos que arrastran las crecidas. Las masas de sedimentos y la vegetación pionera se consideran feas en oposición a las láminas de agua y la vegetación arbórea. La visión de las gravas resulta molesta, se considera un síntoma de pobreza asociado a la escasez de caudal. Hay “limpiezas” y dragados que se hacen con fines estéticos, o añaden los objetivos estéticos a los habituales de ‘aumentar la capacidad de desagüe’. El elemento menos valorado de un río es el sedimento, y no solo popularmente. Y sin embargo es un elemento clave en el funcionamiento fluvial, de máximo e indiscutible valor desde una perspectiva científica. No solo los sedimentos en conjunto, sino cada uno de ellos, es decir, cada piedra, cada grano de arena, cada rama de madera muerta transportada. Todos estos materiales están en camino, desde el lugar donde fueron incorporados a la red fluvial hasta el mar, en un trayecto que puede durar miles de años, porque pueden quedar atrapados durante mucho tiempo en diferentes almacenes temporales (conos, barras, islas...). Estos elementos y este funcionamiento son tan valiosos que deberían estar protegidos en sí mismos, tanto los procesos como las formas, es decir, la geomorfología fluvial en

su conjunto. En la misma línea hay que respetar las imprescindibles crecidas de nuestro río. Un río sin crecidas y sin movilidad de sedimentos está enfermo, no puede realizar sus funciones y acabará muriendo como ecosistema. He aquí otro de los importantes retos del necesario cambio de visión.

5.1.5. Las infraestructuras verdes

El concepto de “infraestructura verde” se va consolidando en los últimos años. No pone el acento en los sedimentos y en las crecidas, como hemos hecho en el apartado anterior, sino en la biodiversidad y en los servicios ecológicos. Es, por tanto, una perspectiva complementaria que también puede ser útil hacia el logro de un nuevo paradigma.

El principio que subyace en las infraestructuras verdes es que **un área de territorio, en este caso los ríos, puede ofrecer servicios múltiples a la sociedad si sus ecosistemas están en buen estado y estos servicios tienen además un gran valor desde un punto de vista económico**, reforzando la idea de que invertir en infraestructuras verdes tiene sentido. Por el contrario la persistencia de las presiones actuales sobre los ecosistemas puede tener consecuencias muy adversas para la salud y la economía de los ciudadanos europeos. Así, las infraestructuras verdes son capaces de satisfacer a un tiempo los intereses de las personas y de la naturaleza.

La Comisión Europea adoptó en junio de 2013 una estrategia (para 2014-2020) destinada a fomentar su uso, entre otros aspectos para la prevención de catástrofes y la ordenación del territorio, y habrá financiación para proyectos de infraestructura verde. Las partes que se identifican en la infraestructura verde son el **soporte físico** (en nuestro caso el río), los **proyectos** (básicamente de restauración y uso sostenible), la **planificación** (por ejemplo, la gestión del riesgo) y las **herramientas, metodologías y técnicas** que ayuden a entender y valorar los beneficios que proporciona la naturaleza: elaboración de manuales técnicos y de buenas prácticas, jornadas de divulgación e intercambio de experiencias, participación pública y voluntariado, etc.

Desde el Ministerio (MAGRAMA) se considera que la implantación del concepto de infraestructura verde en la gestión puede contribuir a la mejora del estado de nuestros ríos, a la mitigación de los efectos del cambio climático, a la reducción de la peligrosidad de las inundaciones, a la provisión de agua y al control de contaminantes, a incrementar la resiliencia de los ecosistemas, a la formación y la educación y a la generación de empleo.

5.1.6. La ordenación del territorio

La ordenación del territorio o planificación regional es tanto un ámbito científico interdisciplinar como un conjunto de técnicas administrativas y una política global que se encaminan a generar normativas de ordenamiento que regulen los usos posibles de espacios concretos a diferentes escalas. El planeamiento urbano y la planificación de cuencas hidrográficas se enmarcan en la ordenación del territorio. La gestión de los riesgos naturales que afectan a un territorio también debe incluirse en la ordenación, de acuerdo con el principio de integración.

Sin entrar en mayor profundidad dentro de esta compleja tarea del ordenamiento territorial, sí que conviene recordar que **la inundabilidad debe ser un factor crucial en la planificación de usos sobre un espacio concreto**. Así, la ordenación del territorio debe adaptarse a los riesgos de inundación, debe estar adaptada al río y a sus crecidas, debe ser un instrumento para reducir la exposición humana y la vulnerabilidad, y con ello mitigar el riesgo. El espacio para el río y el respeto de las llanuras de inundación deben ser objeto prioritario en la ordenación

territorial. Paralelamente hay que ordenar los usos del suelo dentro del espacio inundable, impidiendo nuevos usos urbanos o industriales en las zonas de alto riesgo. Y la ordenación del medio físico debe establecer la capacidad de acogida del territorio con el fin de asignar usos acordes con ella, definiendo un modelo equilibrado y respetuoso con el medio ambiente.

Los planes de ordenación urbana deben adaptarse también al riesgo de inundación, estableciendo normas urbanísticas y de construcción que reduzcan la exposición y la vulnerabilidad. Hay planes de ordenación urbana actuales que no reconocen ni siquiera mencionan la existencia de áreas inundables. La falta de prevención al respecto implica que en inundaciones catastróficas el riesgo sea muy alto. La urbanización debe ser planificada integralmente. El crecimiento urbano de las últimas décadas no ha sido acompañado por una planificación que contemple la geomorfología y respete los procesos hidrológicos naturales. Se deben respetar las vías de flujo y mantener ciertos niveles de permeabilidad en el suelo.

Desde la aprobación y publicación en 1995 de la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones, el desarrollo y aprobación de los Planes de Actuación de Ámbito Local ha sido en general escaso y muy dispar. Y el análisis de riesgo de inundación dentro de dichos documentos ha tenido un desarrollo desigual en los pocos planes locales aprobados, tanto en su alcance y contenidos como en las metodologías empleadas en el estudio de la peligrosidad y zonación del riesgo.

La Estrategia de Ordenación Territorial de Aragón (EOTA) establece que uno de los objetivos de la ordenación del territorio es la reducción de estos riesgos, que se obtendrá a partir del control y ordenación de las actividades directamente implicadas en su desencadenamiento. Entre los objetivos específicos de la EOTA pueden destacarse en esta línea:

- 20.3. (110) Orientar los futuros desarrollos urbanísticos y territoriales hacia las zonas con menor susceptibilidad de riesgo.
- 20.4. (111) Proponer medidas de actuación, valorando su sostenibilidad, para la intervención sobre aquellos bienes públicos y privados que estén situados en zonas clasificadas como de alto riesgo con el fin de disminuir su vulnerabilidad.
- 20.5. (112) Sensibilizar a la población sobre los riesgos existentes y formarla en el comportamiento a seguir en el caso de catástrofes o fenómenos extraordinarios en coordinación con los órganos competentes en materia de protección civil.

En los nuevos planes hidrológicos se esperan medidas de gestión territorial que incluyan el traslado de infraestructuras u otras acciones para resolver los numerosos casos de ocupación del dominio público hidráulico y otras zonas inundables.

5.1.7. La restauración fluvial

El actual concepto de restauración es controvertido. Es, o debería ser, restablecer o recuperar el río a partir de la eliminación de los impactos que lo degradaban y a lo largo de un proceso prolongado en el tiempo, hasta alcanzar un funcionamiento natural y autosostenible. Pero esta restauración auténtica es un gran reto casi imposible de conseguir, ya que sería necesario un profundo cambio de mentalidad para poder eliminar muchas presiones sobre el río. De forma práctica es preciso conformarse con una rehabilitación de algunas de las funciones fluviales.

Hay otra “restauración” mucho más frecuente pero falsa, llamada así en los papeles oficiales, que se queda en maquillaje y consiste realmente en revegetaciones, estabilización de márgenes o creación

de zonas verdes junto al cauce. La auténtica restauración fluvial, sin embargo, debería ser principalmente auto-restauración geomorfológica, es decir, trabajada por el río con crecidas naturales que revitalicen la dinámica y movilicen los sedimentos, renovando así los hábitats y favoreciendo con ello el desarrollo natural de los ecosistemas.

El potencial de la restauración fluvial para reducir el riesgo de inundación es enorme. A pesar de lo señalado en los párrafos anteriores, afortunadamente hay proyectos de restauración de ríos aceptables, algunos de los cuales tratan de recuperar el espacio fluvial permitiendo, por tanto, además de generar espacios naturales de gran valor y recuperar funciones ecológicas y geomorfológicas, evitar o reducir daños para las personas y perjuicios económicos. En la **Estrategia Nacional de Restauración de Ríos** se trabajó y debatió intensamente esta importancia de la restauración en la mitigación de riesgos. Desde el **Centro Ibérico de Restauración Fluvial** se desarrollan jornadas y cursos de formación en esta línea.

5.1.8. Educación en el nuevo paradigma

Exceptuando las poblaciones afectadas por inundaciones con frecuencia, en la sociedad hay un desconocimiento general sobre los riesgos asociados a los sistemas fluviales, desconocimiento que en ocasiones ha sido premeditado para favorecer, o no perjudicar, la ocupación de terrenos y la especulación.

La educación en el riesgo es fundamental para reducir la vulnerabilidad de la sociedad ante futuros eventos, ya que supone formar y sensibilizar en el respeto hacia las dinámicas naturales, en la precaución, en la adaptación, evitando que las personas formadas caigan en la pérdida de memoria o en la falsa sensación de seguridad. En suma, con la educación en el riesgo la sociedad aumenta su resiliencia.

La educación (ambiental, formal y reglada) es, por tanto, la estrategia clave para implantar el nuevo paradigma, y para ello tiene que fundamentarse de forma ineludible al menos en los siguientes aspectos:

- Educar y formar en las funciones y valores de los ríos.
- Educar en el respeto por las características naturales de los ríos, por su geomorfología y por sus sedimentos.
- Formar en el conocimiento local del funcionamiento de cada río.
- Concienciar sobre los beneficios de crecidas e inundaciones.
- Educar y formar para entender la información sobre el riesgo y sus factores.
- Educar y formar para entender la participación en la búsqueda de soluciones y en la toma de decisiones.
- Sensibilizar sobre las deficiencias de los actuales sistemas de defensa y educar en las alternativas.
- Educar para combatir la falsa sensación de seguridad.
- Formar y capacitar en nuevas medidas y técnicas de mitigación del riesgo y de restauración fluvial.



5.2. Propuesta de buenas prácticas sobre conocimiento, evaluación y cartografía

Ya se ha valorado la necesidad de conocer el río, cada río, cada tramo, y de apoyarnos en los antecedentes de crecidas e inundaciones como fuente fundamental de experiencia para poder actuar en situaciones extremas en el futuro. Este conocimiento debe ser renovado y actualizado de forma permanente. En la misma línea, el riesgo y, por tanto, sus factores, deben estar evaluados de forma continua en cada punto del territorio.

La cartografía de peligrosidad y de riesgos de inundación, exigida por la Directiva 2007/60/CE y por el Real Decreto 903/2010, es una herramienta muy útil tanto para la gestión del riesgo como para la ordenación territorial en general. Pero debe ser vinculante, implicando obligatorio cumplimiento. Se trata de una cartografía oficial, que tendrá que estar en continua renovación, pero siempre de acceso público, por lo que en cada momento podrá ser utilizada y deberá ser considerada una prueba legal y fehaciente de la peligrosidad y del riesgo existente en cada punto. No deberá existir ninguna actuación en el espacio inundable que no haya tenido en cuenta la representación cartográfica actualizada de peligrosidad y riesgo. También la Ley 8/2007, del Suelo (hoy refundida en el texto aprobado por el Real Decreto Legislativo 2/2008, de 20 de junio) establece que los desarrollos urbanísticos deben someterse a una evaluación ambiental previa y a un informe de sostenibilidad, en el que se deberá incluir un mapa de riesgos naturales.

1

PANEL CIENTÍFICO-TÉCNICO-INSTITUCIONAL PERMANENTE.

Apoyar la creación y el mantenimiento de un panel científico, técnico e institucional de especialistas en crecidas e inundaciones y en gestión del riesgo que estudien, observen, analicen, cartografien, pronostiquen y valoren sinergias, factores y efectos, e informen de todo ello a la sociedad en general y a los afectados en particular.

Junto a ello, mejorar las bases de datos y la promoción del intercambio y la divulgación, plenos y libres, de datos para la evaluación, la vigilancia y la alerta temprana a la escala necesaria.

Reforzar estos objetivos con la mejora de métodos y capacidades científicos y técnicos mediante la investigación, la asociación, la formación y el fomento de la capacidad técnica. Sacar más rendimiento, por ejemplo, de la teleobservación (fomentando más vuelos de ortofoto, especialmente durante cada inundación), de los sistemas de información geográfica, del modelado meteorológico e hidrológico, de los instrumentos de comunicación (con la cartografía como pieza clave) y de los análisis coste-beneficio.

En España tanto a nivel ministerial como de las demarcaciones hidrográficas se cuenta ya en la actualidad con recursos humanos y técnicos, así como bases de datos, muy válidos para esta buena práctica. Hay además numerosos grupos de investigación científica que trabajan sobre la materia. Coordinando los dos ámbitos, puede plantearse con facilidad este panel permanente, que debería funcionar a escala de demarcación hidrográfica o de gran cuenca. Hay experiencias interesantes en el marco de los “gabinetes y comisiones de crisis” que se han coordinado en determinadas situaciones antecedentes. Pero se trataría de contar con un panel de expertos permanente, que debería mantenerse en el tiempo y no solo funcionar durante o inmediatamente después de los eventos extremos.

2

CONOCIMIENTO Y SEGUIMIENTO HIDROGEOMORFOLÓGICO DEL RÍO.

Desarrollar un estudio hidrogeomorfológico completo del sistema fluvial y actualizarlo periódicamente con mediciones en puntos de muestreo y sobre ortofotos, identificando procesos y cambios.

Es muy importante y necesario divulgar este conocimiento continuo del río.

Los protocolos de análisis deben incluir el trabajo con caudales, crecidas, morfometría del cauce y de la llanura de inundación, identificación y seguimiento de procesos de erosión, transporte y sedimentación, etc.

El estudio continuo, mediante proyectos de investigación e informes técnicos, de los parámetros e indicadores de dinámica hidrogeomorfológica, permitirá comprobar las respuestas del río a cada una de las buenas prácticas y medidas aplicadas, que deberán ir adaptándose a la dinámica fluvial.

Existen numerosas investigaciones, generalmente tesis doctorales, que han profundizado en el conocimiento del funcionamiento hidrogeomorfológico de determinados sistemas fluviales, realizadas especialmente desde los campos de la Geografía Física y de la Geología. Son útiles como ejemplo y por aportar metodologías aplicadas de interés. Sin embargo, hay importantes lagunas de conocimiento, por cuanto los ríos estudiados son escasos en relación al amplio contexto de la red fluvial y, además, los citados estudios rara vez contaron con una prolongación en el tiempo y necesarias actualizaciones. En esta buena práctica, por tanto, es preciso partir de cero en muchos cursos fluviales.

3

DELIMITACIÓN DEL ESPACIO INUNDABLE Y CARTOGRAFÍA DE PELIGROSIDAD Y RIESGO.

Esta buena práctica es fundamental e inexcusable en la gestión del riesgo de inundación. Está asociada directamente a la práctica siguiente, ya que la cartografía constituye una herramienta básica en la evaluación del factor peligrosidad y del nivel de riesgo.

Debe contarse con la delimitación completa y detallada del espacio inundable, que marcará el territorio final objeto de estas buenas prácticas.

Debe comprender la cartografía de peligrosidad (inundabilidad) y la de riesgo, como mínimo a la misma escala que la SNCZI, y si es posible con mayor detalle.

Hay que elaborar, actualizar periódicamente y difundir ampliamente esta cartografía, y la información asociada a ella, entre las autoridades responsables, la población en general y las comunidades expuestas, y en el formato adecuado.

Esta cartografía no es un mero instrumento, sino que debe ser vinculante, constituyendo un documento oficial que implique obligado cumplimiento para cualquier actuación en el territorio. No tener en cuenta esta cartografía implicaría también responsabilidad ante procesos judiciales.

Esta buena práctica es imprescindible de acuerdo con la Directiva 2007/60/CE, y a través del SNCZI se va consiguiendo progresivamente para todos los cursos fluviales, aunque todavía hay un camino importante por recorrer en cursos de pequeñas dimensiones. A nivel local, o para tramos concretos, sería interesante contar con una cartografía de mayor detalle o con una leyenda más completa,



para lo que habría que basarse en los procedimientos metodológicos del SNCZI, que se han sintetizado en el apartado correspondiente de esta guía, además de en algunas interesantes publicaciones del IGME que se refieren como lecturas recomendadas en el Anexo B.

Por otro lado, El Plan Especial de Protección Civil de Emergencias por Inundaciones en la Comunidad Autónoma de Aragón de 2006 incluye una recopilación de inundaciones históricas de los diferentes cauces de la Comunidad, así como una relación de los municipios afectados por éstas, clasificadas en graves, medias o leves, en función del tipo de afección. La información es heterogénea, muy escasa o nula para cursos fluviales de corto recorrido.

4

AMPLIAR CARTOGRAFÍA Y GESTIÓN A TODA LA RED FLUVIAL.

Es necesario contar con el mayor detalle posible y la mayor cobertura del territorio en la identificación, diagnóstico y representación cartográfica de la peligrosidad y del riesgo de inundación. Los procesos estatales del SNCZI son valiosos y útiles, pero no van a llegar a todos los cursos fluviales.

Es necesario descender en la cartografía y en la gestión del riesgo al detalle local y es imprescindible trabajar todos los cursos de la red fluvial, ya que los más pequeños también asisten a procesos extremos que pueden resultar peligrosos. Existen numerosos ejemplos de ello. Por tanto, por iniciativa comarcal o municipal o en el marco de las demarcaciones hidrográficas, debería abordarse una cartografía total y en los planes de gestión deben entrar todos los cauces.

Es una tarea compleja y costosa pero urgente y necesaria. Ha de iniciarse con casos en los que haya habido antecedentes de eventos extremos problemáticos, por ejemplo ramblas y barrancos que atraviesen núcleos urbanos.

En la literatura científica y en trabajos académicos recientes se encuentran algunas cartografías y análisis locales que pueden servir de modelo de trabajo.

Mapa de detalle de inundabilidad del barranco Lierde o Espata en Villanúa (trabajo académico del geógrafo Sergio Domenech Zueco)



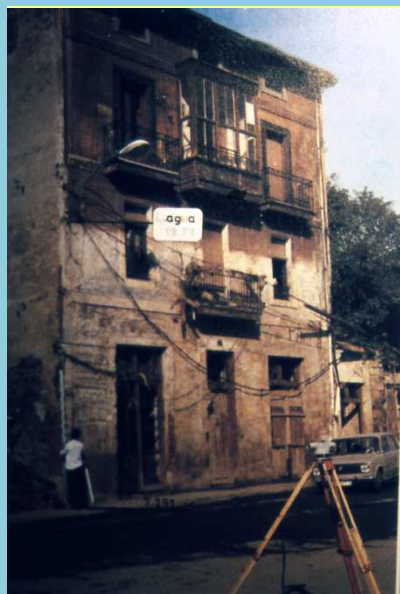
5

INTEGRAR SINERGIAS CON INUNDACIONES URBANAS Y LITORALES.

La presente guía se centra en inundaciones de origen fluvial, pero no hay que olvidar que hay otros procesos en los que no interviene el río, pero que pueden interactuar sinérgicamente en el espacio y en el tiempo con una crecida fluvial.

Las áreas urbanas registran inundaciones por precipitación intensa, simplemente por impermeabilidad e incapacidad del alcantarillado. Si coincide una crecida fluvial con una lluvia local intensa que inunda el ámbito urbano la sinergia es muy grave. En consecuencia, tanto en los mapas de riesgos (previsión) como en los planes de gestión (prevención) en áreas urbanas hay que tener en cuenta esta posibilidad y establecer medidas adecuadas.

En áreas litorales hay que estudiar, cartografiar y planificar la gestión integrando los cursos fluviales con la costa, con especial atención a las desembocaduras, donde pueden generarse fenómenos sinérgicos muy relevantes, como por ejemplo el choque de una crecida fluvial contra una ola de marea (bore) o de tsunami.



En nuestro entorno no hay ejemplos de cartografía ni planes de gestión en los que se hayan integrado inundaciones fluviales y urbanas. En muchas ciudades europeas litorales cuentan con cartografía y planificación adaptada a estas sinergias. Un ejemplo es Bilbao, donde en agosto de 1983 se registró una gravísima situación sinérgica en la que se asociaron los efectos de una enorme precipitación in situ por gota fría con las crecidas de los ríos Nervión e Ibaizabal, con una marea de temporal en la entrada de la Ría y con escorrentías y procesos geomorfológicos en las laderas, todo lo cual combinado generó alturas de la inundación de hasta 13 metros en algunas calles.

Marca de la inundación en la calle Zamakola de Bilbao (foto de la Diputación Foral de Bizkaia).

6

EVALUACIÓN PERMANENTE DEL RIESGO.

Para cada espacio asociado al sistema fluvial debe contarse con un sistema de evaluación permanente del riesgo.

Para ello es necesario preparar un sistema de indicadores de sus factores que permitan una evaluación continua de los mismos, cualitativa y cuantitativa, y del nivel de riesgo resultante.

Esos grados o niveles de riesgo deben ser tenidos en cuenta en cualquier toma de decisiones, planteando la puesta en marcha de estas, u otras nuevas, buenas prácticas de gestión.

Hay que divulgar los resultados entre las autoridades responsables, la ciudadanía y las poblaciones expuestas.

Es fundamental analizar la posible evolución futura del riesgo, sus posibles consecuencias e impactos, informando igualmente de forma permanente a la población de todo ello.

De ahí que el procedimiento evaluador sea continuo y vaya alertando de posibles modificaciones en los factores y variables que intervienen.

Existen escasos modelos de sistemas o índices de evaluación del riesgo y es difícil que estos sean universalmente aplicables. Sería muy conveniente establecer un protocolo de evaluación específico para cada caso, adaptado a las características del río y a las condiciones de exposición y vulnerabilidad locales. Como base de trabajo para la definición de un sistema puede recurrirse a algunos estudios científicos de las universidades de Alicante y Valencia, a protocolos de Reino Unido, Francia y Holanda y a interesantes artículos científicos sobre casos en Gran Bretaña y Alemania, algunos de ellos referenciados en el anexo C. En concreto en el Reino Unido se exige ante cualquier actuación un protocolo previo de evaluación FRA (Flood Risk Assessment). También es interesante la consulta de los informes de evaluación preliminar del riesgo de inundación realizados en todos los países comunitarios en los últimos años por exigencia de la Directiva 2007/60/CE.

5.3. Propuesta de buenas prácticas sobre el territorio fluvial

Como se ha analizado en esta guía, los sistemas fluviales cuentan en dinámica natural con un espacio propio que ha sido modelado por las crecidas y que está conformado por el cauce menor, las riberas y parcial o totalmente la llanura de inundación. Sus dimensiones han sido definidas por los principales eventos de crecida a los que ese río ha asistido. Sin embargo, en la mayor parte de los cursos fluviales la ocupación humana de los fondos de valle ha ido reduciendo progresivamente este espacio propio del río. Este estrechamiento de los corredores fluviales ha alcanzado máxima expresión en el último medio siglo, provocando una problemática ambiental asociada al destacable incremento de los daños en procesos de crecida e inundación, como hemos visto.

Frente a esta problemática de ocupación, deterioro y riesgo, la principal solución, marcada por el sentido común, consistiría en devolver al sistema fluvial, en la medida de lo posible, al menos una parte de ese espacio usurpado. A este espacio se le denomina Territorio Fluvial, concepto muy debatido, que ha contado con diferentes expresiones: *room for rivers*, *espace de liberté fluviale*, *free space for rivers*, *streamway*, *erodible corridor*, *space to move*, *river widening*, etc. La utilización en castellano del término “Territorio Fluvial” se estableció de forma consensuada en la Estrategia Nacional de Restauración de Ríos, en la que se propuso esta solución como una de las posibilidades más interesantes de la restauración fluvial.

La devolución de un espacio de libertad a los ríos, en especial a los de llanura, es ya un paradigma científico consolidado como modelo de actuación y es técnicamente viable, existiendo experiencias concretas, foros internacionales de debate y numerosos grupos de trabajo que defienden esta medida. Se han desarrollado interesantes experiencias en Francia, Alemania, Holanda, Suiza o Estados Unidos. Sin embargo, en la Península Ibérica todavía no se valora como medida de resolución de problemas ambientales y de riesgos. Tan sólo han surgido algunas iniciativas recientes de aceptación de la inundación controlada de espacios fluviales agrarios, pero al no aceptarse la erosión fluvial, por cuanto puede generar pérdida de propiedad privada, no se han logrado auténticos territorios fluviales, sino tan solo espacios temporalmente inundables.

El Territorio Fluvial es una banda geomorfológica y ecológicamente activa, de máxima eficiencia y complejidad como sistema natural. Debería ser ancho, continuo, inundable, erosionable, no defendido y no urbanizable. Exigiría eliminar las defensas de margen y quitar o alejar las motas. Sus límites no deberían ser permanentes, sino adaptados a la movilidad fluvial. Debería ser una figura de ordenación del territorio, una adaptación de la misma a la dinámica fluvial. En suma, es un espacio de suficiente anchura y continuidad como para permitir conservar o recuperar la dinámica hidrogeomorfológica, obtener un corredor ribereño continuo que garantizaría la diversidad ecológica (Directiva Hábitats, 1992/43/CE), y la función bioclimática del sistema fluvial, cumplir con el buen estado ecológico (Directiva del Agua 2000/60/CE), laminar de forma natural las avenidas (Directiva de Inundaciones 2007/60/CE), resolver problemas de ordenación de áreas inundables, así como mejorar y consolidar el paisaje fluvial. Es una solución aplicable a cualquier curso fluvial, con máxima utilidad en sistemas de llanura con notable anchura potencial del corredor ribereño y con problemática de riesgos por erosión e inundaciones.

Lograr un Territorio Fluvial supone trabajar “junto a la naturaleza” en el control de las inundaciones, tal como recomienda la Directiva, aprovechando los mecanismos naturales de laminación de las avenidas (inundación de las riberas, disipación de energía en los meandros...), y respetando todas las funciones de los ríos en crecida.

Aplicar el Territorio Fluvial cuenta con dificultades: conflictos de propiedad, multiplicidad de usos e intereses de complicada compatibilización, situaciones heredadas, etc. La erosión fluvial se ve social y administrativamente como pérdida de terreno que puede llevar a conflictos legales, por lo que se admite un Territorio Fluvial para laminar inundaciones, pero no un espacio de movilidad sin defensas de margen.

El trabajo científico de expertos en sistemas fluviales va despertando la conciencia social sobre este tema, y el interés por resolver problemas de riesgos lleva a contemplar el Territorio Fluvial como una posibilidad útil. Para implantarlo, podría ser necesaria una inversión económica inicial para retirar defensas o desplazarlas, comprar o expropiar terrenos, favorecer cambios en los usos del suelo y cofinanciar seguros para los propietarios que prefiriesen mantener su actividad dentro del Territorio Fluvial y, por tanto, a expensas de la inundación y de la erosión. Ahora bien, si se logra el Territorio Fluvial, la necesaria restauración del cauce y las riberas la llevaría a cabo fundamentalmente el río, por lo que sería muy barata y efectiva. Dentro del Territorio Fluvial y a partir de una correcta zonificación de usos del suelo y del fomento de usos compatibles con la inundabilidad y la conservación y restauración de la biodiversidad, será posible mantener actividades humanas sostenibles.

El conjunto de buenas prácticas que se plantean a continuación se implican en esta línea de devolver espacio al río, lo que requiere algunas actuaciones asociadas, como las soluciones participativas a conflictos, la retirada o retranqueo de defensas, la rebaja de terrenos sobreelevados y medidas de restauración y conservación.

7

DEFINICIÓN DE UN TERRITORIO PARA EL RÍO.

Definición y delimitación cartográfica del Territorio Fluvial (TF), del Dominio Público Hidráulico (DPH, probable y/o real, más bandas de servidumbre y policía), de la Zona de Inundación Peligrosa (ZIP), de la Vía de Intenso Desagüe (VID) y de la Zona de Flujo Preferente (ZFP) en toda el área de estudio. Superposición y comparación de todas las superficies y preparación, edición y presentación pública de una cartografía final que las integre.

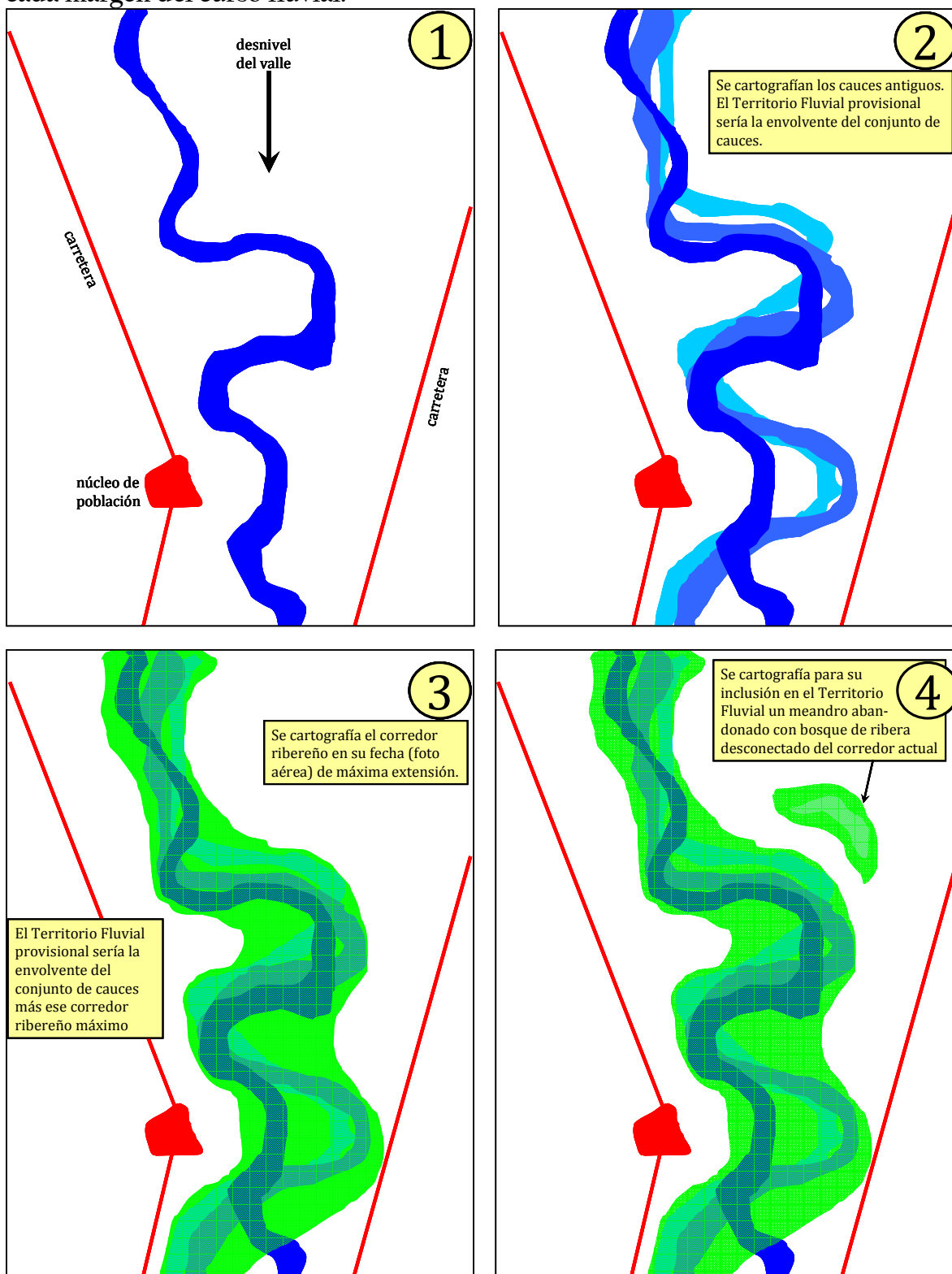
En concreto y de acuerdo con la metodología especificada en la Estrategia Nacional de Restauración de Ríos, el Territorio Fluvial debe ser delimitado por criterios geomorfológicos, ecológicos e históricos (evolución fluvial), y no contar con límites permanentes, sino revisados periódicamente para adaptarse a la propia dinámica fluvial.

Deben quedar incluidos en el Territorio Fluvial:

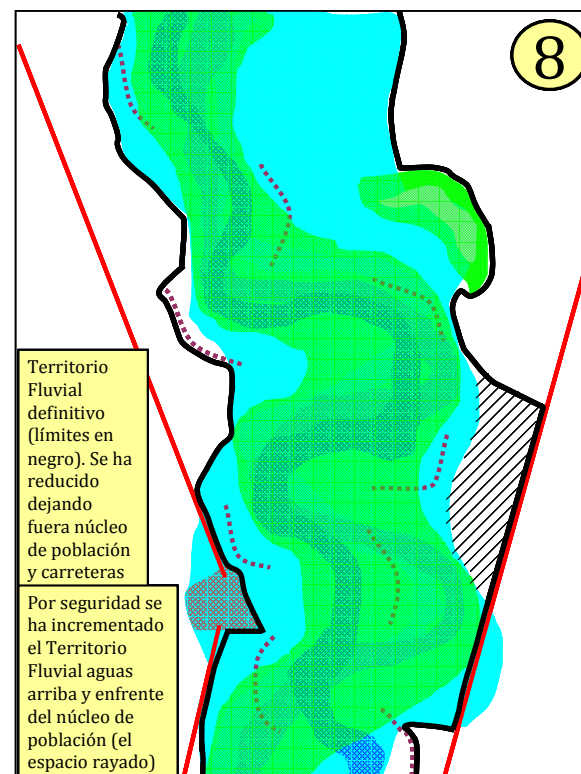
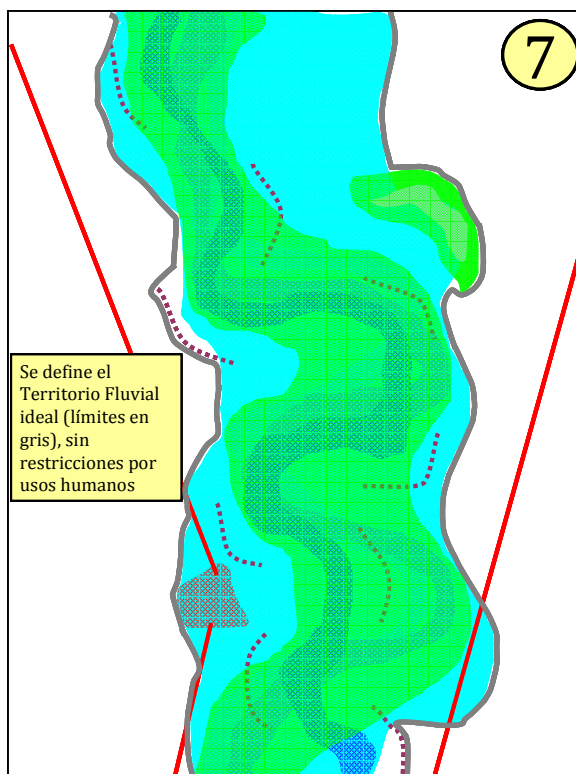
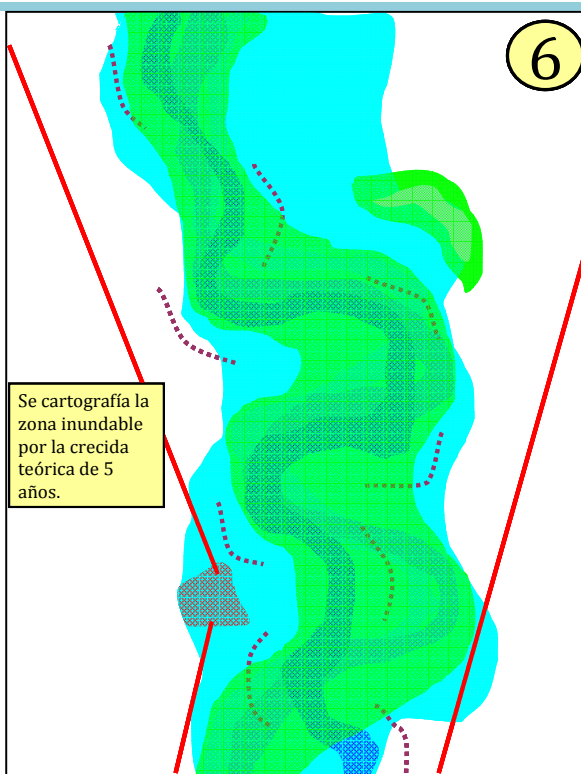
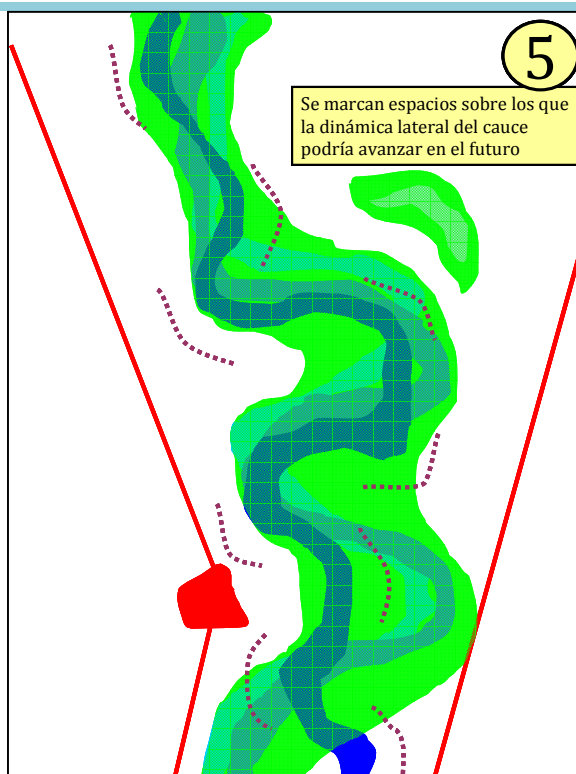
- los distintos trazados del cauce al menos en el último siglo, consultando para ello cartografía y fotografías aéreas antiguas,
- la extensión máxima del corredor ribereño al menos en el último siglo, definida a partir de las mismas fuentes cartográficas y fotográficas,
- meandros abandonados, masas de vegetación ribereña aisladas y otros posibles anexos fluviales desconectados del corredor actual,
- terrenos susceptibles de ser erosionados en el futuro por la propia dinámica del cauce, definidos a partir del análisis de las tendencias evolutivas y a criterio de los expertos en geomorfología fluvial que desarrollen el proceso de delimitación,
- toda la zona inundada por la crecida de 5 años (en ríos grandes) o la de 10 años (en cursos pequeños), criterio que puede ser modificado en función de caracteres locales y a partir de análisis hidromorfológicos e hidráulicos.

7

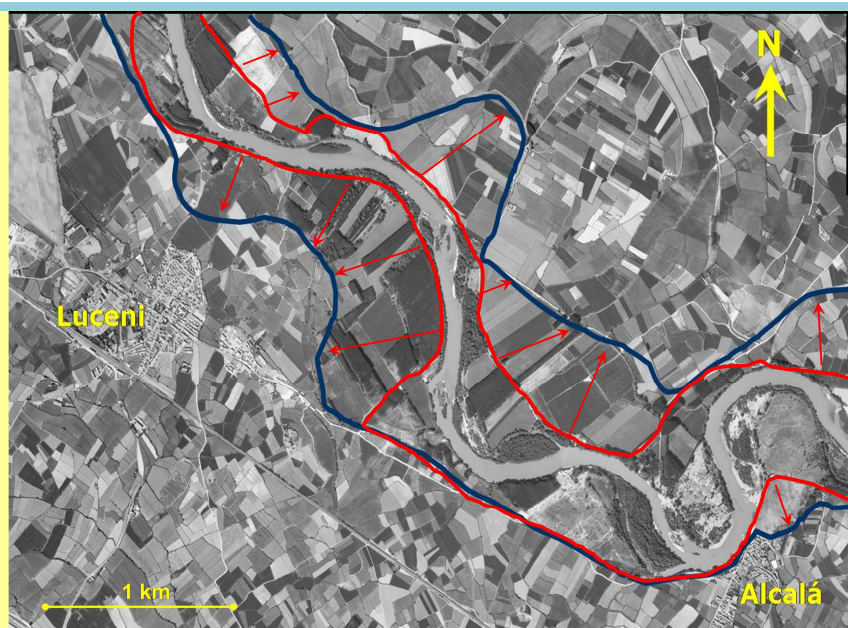
Deben quedar fuera del Territorio Fluvial los núcleos de población y algunos usos humanos consolidados, a criterio de los delimitadores. Debe ensancharse el Territorio Fluvial aguas arriba y enfrente de los núcleos de población, a criterio de los delimitadores, para reducir los niveles o cotas de aguas desbordadas. Este proceso de delimitación se completa con la cartografía del Territorio Fluvial. Los criterios expuestos son integrados en un Sistema de Información Geográfica, resultando de su integración los límites externos del Territorio Fluvial, uno en cada margen del curso fluvial.



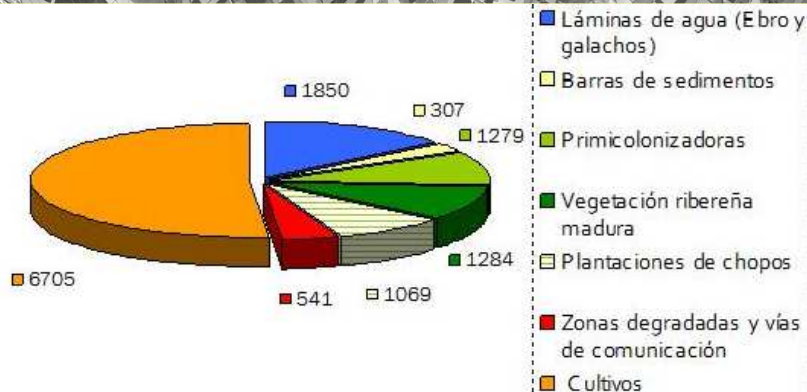
7



Se han desarrollado propuestas de definición del Territorio Fluvial (TF) en diferentes proyectos. En el Plan Medioambiental del Ebro y tramo bajo del Cinca, estudio solicitado por el Gobierno de Aragón en 2005, se definió un TF que en conjunto alcanzaba en el Ebro una extensión de 13.035 ha (una anchura media de 1.184 m, es decir, el 30% de la superficie total de la llanura de inundación) y de 1.621 ha con una anchura media de 620 m en el bajo Cinca, resultando en general algo más estrecho que el Dominio Público Hidráulico probable, del que no se cuenta con una delimitación oficial para la misma zona.

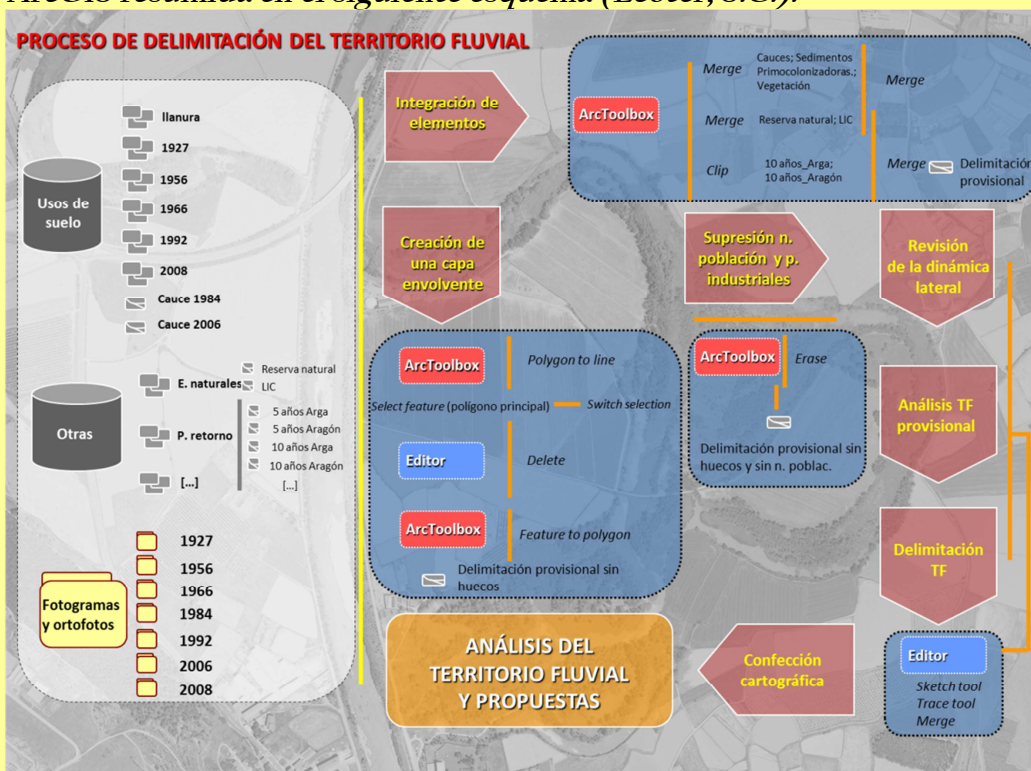


Ejemplo de delimitación del territorio fluvial (línea azul) en el tramo del Ebro Luceni-Alcalá (Plan Medioambiental del Ebro, Gobierno de Aragón).



Superficies de diferentes usos actuales del suelo en el espacio que se integraría en el territorio fluvial del Ebro medio (Plan Medioambiental del Ebro, Gobierno de Aragón).

En los cursos bajos de los ríos Arga y Aragón (Navarra) también se definió el Territorio Fluvial en un estudio de 2009, consolidándose una metodología de aplicación con el programa ArcGIS resumida en el siguiente esquema (Ecoter, S.C.).



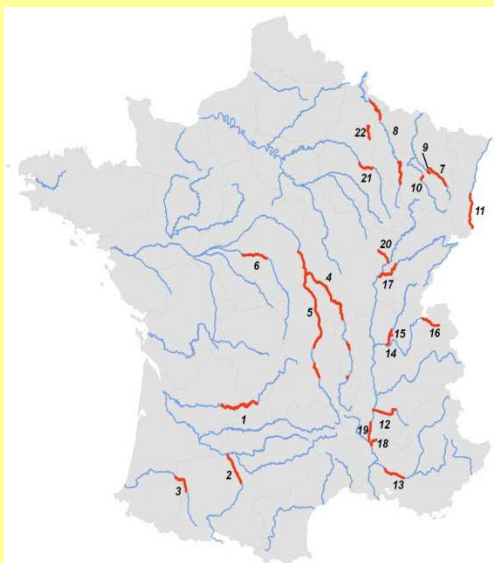
8

IDENTIFICACIÓN Y BÚSQUEDA PARTICIPATIVA DE SOLUCIONES PARA ÁREAS EN CONFLICTO.

Identificación de áreas conflictivas dentro del Territorio Fluvial, así como en DPH, ZIP, VID y/o ZFP.

Proceso de participación pública en busca de soluciones para dichas áreas y aplicación efectiva de acuerdos alcanzados, que pueden implicar cambios de propiedad, conmutas, modificación de usos del suelo, etc., e incluso compras y expropiaciones.

Esta buena práctica es imprescindible para la puesta en marcha y el éxito de la medida prioritaria de dotar al río con un espacio suficiente para resolver sus excesos de caudal. Los conflictos son normales y pueden resolverse desde ámbitos participativos y de gestión integrada, como por ejemplo los Contratos de Río. En Francia existen numerosas experiencias en los tramos fluviales en los que se han implantado espacios de libertad fluvial, por ejemplo en el programa Loire Nature y en especial en el río Allier. Para resolver estos conflictos se ha creado la red europea Space for Rivers.



Espacios de libertad fluvial en Francia



Río Allier (Foto Loire Nature)

9

DEVOLUCIÓN EFECTIVA DE ESPACIO AL RÍO.

Para la devolución efectiva de espacio al río no es necesaria la expropiación ni el cambio de propiedad, sino la asunción de que el territorio va a quedar unido e integrado en el río sin ninguna defensa o estructura que impida esa conexión a lo largo de todo el tramo donde se haya establecido. Para ello es necesaria la eliminación o retranqueo de las motas y demás estructuras de defensa.

Esta buena práctica de retirada de motas es imprescindible para establecer un territorio fluvial, pero sobre todo es útil para modificar el sistema de defensa y otorgar la responsabilidad en la reducción del riesgo a la propia laminación natural por desbordamiento.

Se han realizado eliminaciones de defensas en toda Europa, en muchas ocasiones combinadas con la descanalización del cauce y con la recuperación de meandros cortados. En la cuenca del Ebro, donde las experiencias son escasas todavía, pueden destacarse los casos de Tetones (Río Ebro), Caparroso (Río Aragón), Vallacuera (Río Arga), Zaragoza (río Gállego) y Fraga (río Cinca). En Tetones se ha conseguido una superficie libre de más de 100 ha justo aguas arriba de Tudela. En Caparroso se ha eliminado una mota ganando espacio frente a la localidad. En Vallacuera se logró un espacio en un tramo canalizado. En el río Gállego se pudo

retirar la defensa de una de las márgenes y el río ha conseguido reactivar su dinámica. En Fraga se ha retirado una mota obsoleta dando más capacidad al cauce aguas arriba de la ciudad.



10

CONSERVACIÓN O RESTAURACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO NATURAL DEL RÍO.

Un río en buen estado, con una completa funcionalidad hidrogeomorfológica, siempre auto-regula adecuadamente sus crecidas e inundaciones. Además, responde ante estas de forma previsible.

Por tanto, es necesario mantener los cauces y sus cuencas en buen estado de conservación o bien recuperar ese estado mediante prácticas de restauración.

La conservación debe ser real y efectiva y la restauración debe ser auténtica (no “nominal”), en la línea de lo expuesto en el apartado 5.1.6 de esta guía.

Los ejemplos de conservación y restauración de cursos fluviales son numerosos y variados. Es muy frecuente, por ejemplo, la revegetación en las cuencas y en las riberas. El incremento de vegetación regula la escorrentía, frena la fuerza del agua y filtra la deposición de sedimentos, por lo que en general tendrá un efecto positivo para reducir la torrencialidad de los procesos de crecida y para regular los procesos de inundación. Ahora bien, ante un evento de gran intensidad, este papel regulador es prácticamente nulo, como se manifestó en la catástrofe



Río Sequillo

del camping de Biescas, donde a pesar de la muy abundante cubierta vegetal de la cuenca se alcanzó un elevadísimo coeficiente de escorrentía de 0,8. Otra práctica de restauración interesante que mejora considerablemente el funcionamiento fluvial es la reconexión y recuperación de meandros que hubieran sido cortados por antiguas canalizaciones. Un ejemplo reciente es la actuación realizada en el río Sequillo (cuenca del Duero) en Berver de los Montes, a la que corresponde la fotografía.

Por lo que respecta a la conservación, además de las figuras existentes, los ríos pueden ser objeto perfectamente de proyectos de custodia del territorio.

11

HUMEDALES Y ÁREAS DE EXPANSIÓN LATERAL.

Los humedales laterales (cauces secundarios y abandonados, dolinas y otros sistemas palustres) integrados en la llanura de inundación, conectados con el cauce menor a través del freático, ejercen un importantísimo papel en el proceso de laminación de crecidas.

También se pueden generar áreas de expansión lateral de forma artificial, con apoyo en antiguas extracciones de áridos, o bien ocupando cursos bajos de barrancos afluentes, o creando recintos de laminación. En estos casos hay que tratar de respetar todo lo posible la morfología original de la zona y acompañar la iniciativa de procesos de restauración geomorfológica.

Hay numerosas experiencias en Europa de conservación, creación y mantenimiento de cauces secundarios, humedales y áreas de expansión lateral dentro de las llanuras de inundación. En ocasiones se han aprovechado huecos de antiguas y extensas extracciones de gravas en el área inundable para crear estas áreas, que suelen tener uso recreativo y una importante capacidad para laminar crecidas. En Francia hay ejemplos relevantes en el Ródano y el Garona. El área del galacho de Juslibol aguas arriba de Zaragoza ejerce también esta función, que resulta muy positiva para la capital del Ebro. En Sudamérica hay también muchos ejemplos, como los humedales del entorno de Bogotá o los del proyecto “Acciones para la Conservación y el

Desarrollo Sostenible del Humedal de los Bajos Sudmeridionales en la Provincia de Santa Fe (Argentina)” en el que participó ECODES. En el río Ebro se han planificado áreas de expansión lateral controlada, colocándose compuertas en las motas, en Novillas, Pradilla de Ebro y Pina, permitiéndose la inundación de terrenos de la llanura para laminar la crecida.

Y está en proyecto establecer cauces de alivio (que ocupa el río cuando supera cierto nivel) en las proximidades de Novillas, Boquiñeni, Alcalá, Cabañas y Pina.



Parque de Miribel-Jonage en la llanura de inundación del Ródano aguas arriba de Lyon

12

REBAJA DE TERRENOS INUNDABLES SOBREELEVADOS.

En ocasiones los procesos de incisión en el cauce provocados por antiguas extracciones o por embalses aguas arriba generan que la llanura de inundación quede colgada o sobreelevada, con lo que pierde totalmente su función de laminación de crecidas.

Puede plantearse como solución la rebaja topográfica de esos terrenos sobreelevados, procediendo a su excavación. Los materiales extraídos deben ser devueltos al río en el mismo tramo o en otros, tratando de paliar con ello los procesos de incisión. El suelo y los finos extraídos pueden emplearse en labores de revegetación, o bien devolverse a la ribera.



Medida muy utilizada en Holanda (río Waal, por ejemplo). No hay ejemplos en nuestro entorno, pero sí se ha planteado esta solución en algunos proyectos. Un caso relevante es el del río Gállego cerca de San Juan de Mozarrifar, donde un sector de la llanura de inundación ha quedado 6 m por encima (derecha de la foto) del cauce actual, a causa de enorme incisión provocada por las extracciones de áridos llevadas a cabo en los años 70 y 80, así como por la presencia del azud de Urdán aguas arriba. La rebaja de estos terrenos permitiría devolver sedimentos

al Gállego para frenar la incisión y además generar más espacio de laminación en un área próxima a núcleos urbanos.

5.4. Propuesta de buenas prácticas sobre ordenación de espacios inundables

La ordenación territorial y medioambiental ofrece un marco imprescindible para el establecimiento de buenas prácticas, que deben integrarse con las presentadas en otros bloques. En líneas generales, estas buenas prácticas fundamentadas en la ordenación de espacios inundables necesitan un refuerzo de bases legales, pero podrían ser iniciadas sin cortapisa por los agentes del territorio.

El objetivo prioritario de este conjunto de buenas prácticas es reducir la exposición y la vulnerabilidad en los espacios de riesgo y, por tanto, incrementar la seguridad de las personas y de los bienes. Para ello debe lograrse una ordenación territorial efectiva que impida nuevas instalaciones de bienes y actividades vulnerables. Entre los objetivos secundarios destaca la mejora ambiental de los ríos, sometidos a excesivas presiones que tienden a incrementar la peligrosidad.

13

DECLARACIÓN OFICIAL DE TERRITORIO DE RIESGO.

A pesar de la inexistencia de una ley de riesgos en España, la mitigación de estas situaciones debería constituir una prioridad de acción dotada de una sólida base institucional de aplicación.

La primera medida puede consistir en declarar determinadas zonas como territorios de riesgo, es decir, territorios en los que existe un peligro relevante que conviene tener muy en cuenta para cualquier actividad. En el caso de las inundaciones, podría otorgarse esta declaración oficial a las ARPSis.

La declaración conllevaría la adaptación de determinadas normativas, la aplicación de reglamentaciones específicas, beneficios fiscales, la inclusión para estas zonas de mecanismos que estimulen el cumplimiento y promuevan incentivos para las actividades de mitigación, integración y presupuesto para la mitigación en los planes de desarrollo, etc.

La propuesta del territorio-riesgo o la región-riesgo en ordenación del territorio ha sido iniciada en estudios realizados en la Universidad de Alicante, donde se imparte un máster en planificación y gestión de riesgos naturales. En la Comunidad Valenciana hay un conjunto de localidades (Alboraia, Algemesí, Alzira, Cullera, Orihuela, Sollana, Tavernes de la Valldigna y Oliva, entre otras) que se han acogido a la figura de “municipio de alto riesgo de inundación”, recogida en el PATRICOVA (Planes de Inundabilidad de la Comunitat Valenciana) de 2003. Esa declaración implica un cambio en el modelo urbanístico, dirigiéndose el crecimiento de estos municipios hacia áreas no inundables y fomentándose la urbanización intensiva de concentración en lugar de la extensa de baja altura.

14

NUEVOS PLANES DE ORDENACIÓN TERRITORIAL CONTROLADA EN ÁREAS INUNDABLES.

Los planes y directrices de ordenación territorial a todas las escalas deben ser sustituidos por otros nuevos en los que se tenga en cuenta de forma prioritaria la peligrosidad y el riesgo. Por tanto, debe lograrse una ordenación territorial controlada, ajustada y adaptada al riesgo, en toda el área inundable.

Ello implica, entre otros muchos aspectos, incluir la evaluación del riesgo de inundación en los planes de desarrollo rural, establecer, mejorar y fomentar el uso de directrices e instrumentos de vigilancia para la reducción del riesgo en el

contexto de la planificación, incluir la propia evaluación del riesgo en la planificación y la gestión, identificar las zonas disponibles (fuera de riesgo) para nuevos usos, etc.

La nueva Ley 5/2014, de 25 de julio, de Ordenación del Territorio, Urbanismo y Paisaje, de la Comunitat Valenciana integran dentro de la infraestructura verde las zonas críticas por la posible incidencia de riesgos naturales, directos e inducidos, de carácter significativo. La planificación territorial y urbanística evitará los nuevos desarrollos en las zonas de riesgo de inundación significativo, estableciéndose zonas rurales protegidas por riesgos (ZRP-RI).

En la Estrategia de Ordenación Territorial de Aragón (EOTA) se establece un sistema de espacios abiertos o no urbanizados del territorio, que integra los espacios de mayor valor ambiental, paisajístico y cultural, así como los que son susceptibles de riesgos naturales e inducidos. En cualquier propuesta de desarrollo territorial que implique el uso y la transformación del territorio deben analizarse los distintos tipos de riesgos naturales o inducidos existentes. La elaboración de los mapas de susceptibilidad de riesgos puede contribuir a la delimitación y regulación de aquellas zonas cuyos usos deben de regularse, tomando en consideración estas limitaciones. El Mapa de Riesgos de Aragón es un documento vivo, resultante de los mapas de riesgos que se van elaborando por el Departamento competente, con la finalidad determinar las áreas del territorio que no pueden acoger ciertos usos.

15

ADAPTACIÓN DE USOS DEL SUELO A LA INUNDABILIDAD.

En consonancia con la buena práctica anterior, es preciso fomentar usos del suelo sostenibles con la inundación y adaptar las actividades a los niveles de inundabilidad en cada caso. Esta buena práctica debería estar incluida en el proceso de planificación territorial, pero si no fuera así, puede ser perfectamente aplicada a escala local e incluso por iniciativa particular, siempre desde una toma de decisiones basada en el sentido común. En suma, es una medida inteligente y prudente, de la que dependerá el éxito de la actividad. Constituye además una fórmula de uso sostenible del territorio.

Los usuarios agrícolas conocen las limitaciones de los sistemas de motas y escolleras, pero deben tomar mayor conciencia del riesgo de inundaciones en cada zona para adaptar sus labores, técnicas y usos adecuadamente al mismo.

Como ejemplo, una práctica agraria tradicional y muy extendida en esta línea es la sustitución de otros cultivos agrícolas por cultivos de chopos en las áreas con mayor frecuencia de inundación.

16

REVISIÓN DE LOS PLANES DE ORDENACIÓN URBANA Y OTRAS NORMATIVAS ASOCIADAS.

La evaluación de los riesgos debe trasladarse a los planes de urbanismo en todas sus formas y niveles. Los planes antiguos deben ser revisados al respecto, o bien redactarse planes totalmente nuevos incorporando la cartografía vinculante de peligrosidad y riesgo.

Hay que prestar especial atención, como señalan directivas internacionales, a las zonas densamente pobladas y a los asentamientos en rápida urbanización. Además de en las áreas residenciales, hay que incluir la consideración del riesgo en los procedimientos de planificación de los proyectos de infraestructuras.

Es fundamental frenar el desarrollo urbano en zonas inundables y no consolidar más espacio urbano en el ámbito fluvial, evitando por ejemplo que se legalicen urbanizaciones periféricas ubicadas en espacio inundable.

También hay que restringir las nuevas infraestructuras, redes de servicios, colectores, gasoductos, que en ningún caso deberían circular por los cauces fluviales o junto a ellos, por cuanto consolidan las orillas y pueden dificultar o alterar los procesos de desbordamiento.

Por ejemplo, cada estudio de planificación para las diferentes cuencas internas de Catalunya propone la delimitación de tres figuras en el Espacio Fluvial (Zona Fluvial, Sistema Hídrico y Zona Inundable) que se han traspuesto en el Reglamento de la Llei d'Urbanisme y que entraron en vigor en julio de 2006. En el artículo 6 de este reglamento se especifican los usos admitidos en cada figura. En zonas "de inundación grave" no se admiten áreas de acampada ni servicios de camping ni ningún tipo de edificación. En la zona de inundación frecuente definida como Sistema Hídrico (delimitada por la avenida de 100 años) el planeamiento urbanístico no puede admitir ninguna nueva edificación o construcción ni ningún uso o actividad que suponga una modificación sensible del perfil natural del terreno, que pueda representar un obstáculo al flujo del agua o la alteración del régimen de corrientes en caso de avenida. Para dicha zona sí se consideran compatibles los usos agrarios (sin invernaderos ni edificaciones), los parques, espacios libres, zonas ajardinadas y usos deportivos al aire libre (sin edificaciones ni construcciones de ningún tipo), los lagunajes y las estaciones de bombeo de aguas residuales o potables y las infraestructuras de comunicación y transporte longitudinales y las de servicios y cañerías (siempre que permitan la preservación del régimen de corrientes).

17

DESURBANIZAR ÁREAS INUNDABLES.

Constituye una buena práctica de sentido común, fundamental para reducir la exposición y, por tanto, para reducir el riesgo. Si un área urbana es claramente afectada por un proceso de crecida e inundación o bien se determina en la cartografía que está ubicada en un área inundable, lo más aconsejable y prudente sería impedir su habitación y eliminar los edificios para que no constituyan obstáculos negativos ante nuevos eventos. Sin embargo, esta buena práctica puede presentar problemas legales y supondría un elevado coste en compensaciones e indemnizaciones.

Ahora bien, habría que actuar de forma preferente sobre urbanizaciones recientes legales, ilegales o alegales, construidas en las periferias de los núcleos de población al albur de procesos de crecimiento urbanístico mal planificado, muchas veces sin informes o con informes erróneos de inundabilidad. Constituyen un problema importante, generando situaciones de riesgo que no deberían ser permitidas.



El temporal Xynthia (viento, mareas, inundaciones) causó 45 muertos en las costas de Francia (Vendée) el 27 de febrero de 2010. Ante la manifiesta exposición al riesgo de determinadas urbanizaciones, las autoridades decidieron demoler 1.393 casas, indemnizando a cada propietario con una media de 250.000 €. En la imagen se observa la inundación en una de las localidades afectadas, L'Aiguillon-sur-Mer.

18

ESTABLECIMIENTO DE NORMAS DE CONSTRUCCIÓN QUE REDUZCAN EL RIESGO.

Ante la imposibilidad de reducir la exposición en algunos casos, es preciso trabajar rebajando la vulnerabilidad. En áreas urbanas habría que establecer normas de construcción que compatibilicen las edificaciones con la inundabilidad y que reduzcan todo lo posible los daños. Habría que revisar también las prácticas de rehabilitación y reconstrucción.

En la práctica, se trata de construir con estructuras resistentes, evitar las plantas sótano, elevar los edificios sobre pilares, elevar las aceras y las entradas a las viviendas, colocar elementos clave como calderas o registros eléctricos a la máxima altura, etc. Los habitantes también deben distribuir sus bienes con sentido común, alejando del suelo los más valiosos.

Es fundamental actuar en edificios públicos, como centros de salud y colegios, que en zonas inundables nunca deberían tener planta calle, sino quedar sobreelevados sobre el terreno.

Hay que dimensionar todas las medidas en cada caso en función de los calados de inundación esperables, siempre con el mayor margen por prudencia.

En los viales existen técnicas recientes de adoquines sobre lecho permeable que permiten evitar o al menos ralentizar la acumulación de agua.

Es muy llamativa la escasez normativa en España sobre este aspecto, en comparación, por ejemplo, con los países sudamericanos, o en comparación con los abundantes criterios en actuaciones de defensa, casi siempre planteadas en la orilla del río y no en las viviendas. El Código Técnico de la Edificación (CTE) español contempla la seguridad en caso de incendio pero no en caso de inundación. La ley sí establece unas exigencias básicas que deben aparecer en las memorias constructivas:

-HS 1 (Protección frente a la humedad), que señala que se limitará el riesgo previsible de presencia inadecuada de agua o humedad en el interior de los edificios y en sus cerramientos como consecuencia del agua procedente de precipitaciones atmosféricas, de escorrentías, del terreno o de condensaciones, disponiendo medios que impidan su penetración o, en su caso permitan su evacuación sin producción de daños.

-HS 5 (Evacuación de aguas): los edificios dispondrán de medios adecuados para extraer las aguas residuales generadas en ellos de forma independiente o conjunta con las precipitaciones atmosféricas y con las escorrentías.

19

ESPACIOS URBANOS ABIERTOS JUNTO AL RÍO.

En la medida de lo posible hay que tener en cuenta en la planificación urbana y hay que lograr, dentro de los espacios urbanos o en su periferia, el establecimiento de áreas abiertas de laminación en las que se permita y se fomente la inundación. Estos espacios pueden configurarse como parques urbanos o áreas deportivas abiertas, o simplemente como espacios de ribera más o menos naturales.

Es importante que carezcan de defensas para que el agua entre sin cortapisas y que estén conectados con el freático sin obstáculos impermeables. Dado su uso humano frecuente deben estar dotados de sistemas de alerta y emergencia.

Como en muchas otras ciudades, en Zaragoza se produce un efecto de “cuello de botella” con el paso del río Ebro. En el avance urbano de los últimos años se ocupó un importante espacio de la llanura de inundación ocupado previamente por terrenos de huerta. Si en esta urbanización hubieran dominado los edificios y las infraestructuras, habría sido muy

negativa para los procesos de crecida e inundación y habría incrementado el riesgo aguas abajo. Afortunadamente la mayor parte del nuevo espacio urbano se ha destinado a parque y en amplias zonas el suelo no ha sido impermeabilizado, concibiéndose como parque inundable. Esta amplia superficie de zona verde compensa otros sectores (como la actual Ciudad de la Justicia) en los que se ha ocupado el espacio de laminación con nuevos edificios y sus cimientos.

20

EVALUACIÓN DE INUNDABILIDAD E IMPACTO AMBIENTAL PARA CUALQUIER ACTUACIÓN.

Cualquier nueva actuación de urbanización, de infraestructura o de defensa dentro del espacio inundable debería ser objeto obligatoriamente de una evaluación de la inundabilidad y de una evaluación de impacto ambiental. Es una buena práctica asociada a los principios de prudencia y de integración.

Hay que mejorar los procedimientos en las dos evaluaciones, sin caer en métodos generalistas, sino analizando con detalle las situaciones.

Habría que realizar modificaciones legislativas para reforzar estas dos evaluaciones y exigir que sean obligatorias y que cumplan unos requisitos científico-técnicos aceptables. Mientras tanto, es de sentido común, además de clave en la prevención, que los responsables y la propia sociedad promuevan la realización de estas evaluaciones.

La legislación española actual es decepcionante en relación con esta buena práctica. La Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental, no considera los riesgos naturales. Tan solo se incluyen como proyectos que deben ser sometidos a la evaluación ambiental simplificada las “obras de encauzamiento y proyectos de defensa de cauces y márgenes cuando la longitud total del tramo afectado sea superior a 5 km. Se exceptúan aquellas actuaciones que se ejecuten para evitar el riesgo en zona urbana”.

21

EVALUACIÓN Y CONTROL AMBIENTAL EN ACTUACIONES POST-CRECIDA.

Deberían erradicarse definitivamente los programas de emergencia de reparación urgente tras crecidas, conformadas por trabajos de defensa que carecen de proyecto, de evaluación del riesgo y de evaluación ambiental.

Deben estimarse qué implicaciones acarrearán estas intervenciones, porque, en ocasiones, una actuación puntual puede cambiar el patrón de riesgo, trasladándolo hacia zonas que nunca antes habían estado expuestas, con los consiguientes problemas de percepción de riesgo por parte de la población y de gestión, por parte de las autoridades.

Sólo en algunos casos de zonas urbanas afectadas con riesgo para personas habría que actuar de forma rápida. En tales casos hay que ejercer un control y seguimiento ambiental muy cuidadoso, para evitar las grandes afecciones que la maquinaria pesada produce directa e indirectamente en los cauces.

Pero si acontece una crecida que produce modificaciones en el cauce y en las orillas hay que estudiar detalladamente por qué el sistema fluvial ha actuado así, y a continuación, si es necesario implantar algún sistema de seguridad o modificar algún efecto de los procesos acaecidos, se estudiarán igualmente con detenimiento diferentes alternativas y posibilidades de actuación.

En definitiva, si no se erradican, al menos habría que establecer unas normas básicas o directrices para estas actuaciones de emergencia, evaluar su necesidad y urgencia, restringir determinadas posibilidades en función del tipo de curso fluvial, optar por la mejor alternativa y plantear correcciones a los impactos ambientales generados.

En la actualidad las obras de emergencia post-crecida siguen careciendo en España de control, de estudio y de las evaluaciones que aquí se proponen. De hecho, muchos de los dragados, limpiezas y actuaciones precarias que se ejecutan se acogen a esta modalidad para evitar “trabas” ambientales, generándose graves impactos y sin ninguna garantía de que reduzcan el riesgo. Estamos ante un tema que requiere una regulación urgente.

22

SISTEMA DE SEGUROS.

Puede promoverse el desarrollo de un sistema de seguros, bien desde aseguradoras privadas, bien con la colaboración del consorcio de compensación, cofinanciado por la administración y por los afectados para cubrir pérdidas económicas derivadas de procesos de crecida e inundación. Crear y promover instrumentos financieros alternativos.

Un buen sistema de seguros puede reducir la demanda de actuaciones urgentes en los cauces y, con ello, la presión sobre el río.

En definitiva, un buen sistema de seguros puede hacer más inteligente y sostenible la interacción de la sociedad en riesgo con el río.

En Estados Unidos existe una amplia tradición en seguros privados para paliar los daños por inundaciones a partir del National Flood Insurance Program (NFIP) que es administrado de acuerdo con las premisas establecidas en las leyes National Flood Insurance (1968) y Flood Disaster Protection (1973)



Génova (Italia)

5.5. Propuesta de buenas prácticas sobre puntos de especial riesgo

Hay puntos de riesgo como confluencias, áreas sinérgicas, áreas con obstáculos y orillas activas, que pueden requerir buenas prácticas especiales, diferentes a las planteadas en el marco de la ordenación territorial y la gestión del riesgo general.

23

CARTOGRAFÍA DE DETALLE EN CONFLUENCIAS Y OTROS PUNTOS SINGULARES.

Las confluencias y desembocaduras fluviales son puntos de máxima peligrosidad. Un río crecido no puede recibir los caudales de sus afluentes y produce un cierre hidráulico, ejerce de presa natural, de manera que su propia crecida penetra en aquéllos y provoca inundaciones al remansar sus descargas. Interesantes procesos hay también en la sinergia entre conos aluviales y cauces a los que desembocan. También pueden coincidir las crecidas de los dos cursos confluentes, produciendo efectos graves y complejos. En la desembocadura de un sistema fluvial en el mar puede haber situaciones sinérgicas entre crecida y elevación del nivel del mar.

Todos estos casos de confluencias y desembocaduras necesitan una cartografía de peligrosidad y de riesgo aún más detallada que la normal, tanto en escala como en leyenda, integrando los elementos y procesos de cada masa de agua.

Del mismo modo habrá que proceder en zonas singulares por su dinámica fluvial, como cauces que se dividen en brazos, áreas proclives a avulsiones, tramos con incrementos de pendiente, conos y sistemas torrenciales, etc.

En las normativas generales no existe referencia a estos aspectos. Tan solo el PATRICOVA (Planes de Inundabilidad de la Comunitat Valenciana) establece como áreas de tratamiento especial las confluencias. En la guía metodológica del SNCZI se plantea la importancia de profundizar en el análisis de estos puntos singulares de riesgo. Por otro lado, existen numerosos trabajos científicos sobre funcionamiento hidrológico y geomorfológico en confluencias que serían muy aprovechables para aplicar esta buena práctica y la siguiente.



Confluencia del Ebro y el Gállego en Zaragoza en 1992. El Ebro crecido penetra en el Gállego pero las aguas de éste le cierran y se produce desbordamiento.
Foto de J. San Román.

24

NORMATIVA RESTRICTIVA EN CONFLUENCIAS Y OTROS PUNTOS DE ESPECIAL RIESGO.

En relación con la buena práctica anterior, si estos puntos especiales presentan mayor peligrosidad es de sentido común aplicar una gestión con regulación y normativas más estrictas, tanto en ordenación territorial como en construcción, en seguimiento del riesgo y en control ambiental.

En países sudamericanos hay numerosos casos de restricciones planificadas en confluencias. En general se plantean procedimientos de gestión local, adaptados a cada situación concreta.

25

IDENTIFICACIÓN Y SEGUIMIENTO DE ACUMULACIONES NATURALES.

Los elementos naturales que movilizan las crecidas son fundamentalmente sedimentos, así como restos vegetales denominados científicamente madera muerta. En condiciones normales la gestión consiste en la conservación de estos elementos,



Río Ebro

ya que forman parte del ecosistema y tienen importantes funciones en él. Por ejemplo, son fundamentales como hábitats para numerosas especies.

La acumulación de estos elementos nunca es peligrosa en cauces naturales, pero pueden presentar problemas al tropezar con elementos antrópicos como puentes, azudes o vados, o bien en estrechamientos y canalizaciones.

La solución debería ser la eliminación o rehabilitación del obstáculo antrópico, es decir, el derribo o acondicionamiento del puente, ya que no tiene las dimensiones ni condiciones adecuadas. Pero por razones de coste económico se prefiere eliminar los elementos naturales, es decir, retirar la madera muerta o dragar los sedimentos, generándose un problema en el río por déficit, que puede derivar en incisión y otros problemas mayores.

En estas situaciones se impone una gestión integrada, comenzando por la identificación local y el seguimiento continuo de las acumulaciones naturales en cauce, márgenes y llanuras de inundación.

Existe abundantísima literatura científica internacional, así como proyectos de investigación y congresos especializados, que ponen en valor la madera muerta y su gestión. Lo mismo puede decirse de los sedimentos fluviales. Todo este conocimiento científico puede ser muy útil para el planteamiento de protocolos de identificación y seguimiento de acumulaciones.

26

REUBICACIÓN Y RESTAURACIÓN GEOMORFOLÓGICA DE ACUMULACIONES NATURALES PELIGROSAS.

En función de la identificación y seguimiento de acumulaciones planteado en la buena práctica anterior, se conocerán las dimensiones y características de cada acumulación y se evaluará si constituyen un problema. Si es así podrían retirarse con sumo cuidado y a ser posible sin maquinaria pesada los elementos de madera muerta, recolocándolos en espacios naturales de la ribera. Allí, alejados de la corriente fluvial para evitar que se incorporen de nuevo a ésta en la siguiente crecida, podrán aportar hábitat, refugio y alimento y seguirán integrados dentro del ecosistema fluvial.

En el caso de los sedimentos, no debería hacerse nada, sino esperar a otra crecida que los movilice, pero en casos extremos puede recomendarse también su retirada, planteándose un proyecto de restauración geomorfológica consistente, en primer lugar, en su transporte a otro enclave del espacio fluvial en el que pueda haber problemas de déficit o de incisión, y en segundo lugar, a la remodelación geomorfológica del espacio (cauce, barra, margen o llanura de inundación) de donde se han extraído para dañar lo menos posible la morfología y la dinámica fluvial y recuperar los procesos geomorfológicos naturales.

Proyectos de restauración específicos en todo el mundo (de forma destacada en Estados Unidos y Alemania) se dedican a la reubicación de madera muerta y a la restauración geomorfológica de acumulaciones sedimentarias. Hay abundante información útil publicada sobre esta temática.

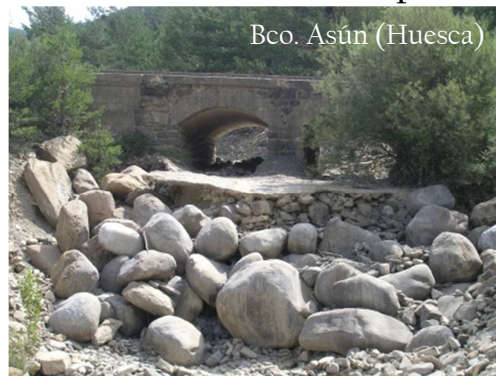
27

IDENTIFICACIÓN Y SEGUIMIENTO DE OBSTÁCULOS ANTRÓPICOS.

Los ríos están llenos de obstáculos antrópicos que, además de ejercer múltiples impactos geomorfológicos y ecológicos en el sistema fluvial, pueden incrementar la peligrosidad de la crecida y de los procesos de inundación.

Estos obstáculos son puentes, presas, azudes, vados, pasos bajo carreteras, muchos de ellos mal dimensionados, edificaciones aisladas con distintos usos, restos de viejas estructuras y defensas, etc. Localmente pueden generar acumulación de flotantes, madera muerta y sedimentos, así como desencadenar procesos geomorfológicos de erosión remontante e incisión. Por si mismos también pueden generar situaciones de riesgo problemáticas por su propia vulnerabilidad o por su ubicación en relación con las líneas de flujo en crecida.

Por tanto, una buena práctica en la gestión de inundaciones consiste en la identificación y seguimiento continuo de todos estos obstáculos antrópicos en el cauce, márgenes y llanuras de inundación de un sistema fluvial. Debe ser una práctica general y previa al posible tratamiento posterior de algunos de esos obstáculos.



Bco. Asún (Huesca)



Puente medieval del Ebro en Tudela, problemático en inundaciones. Foto: Arenillas.



Vado en bco. Oliván (Huesca)



Vado en río Guarga (Huesca)

Existen protocolos fluviales que sirven a estas tareas de identificación y seguimiento, como el índice hidrogeomorfológico IHG o el protocolo británico River Habitat Survey (RHS).

28

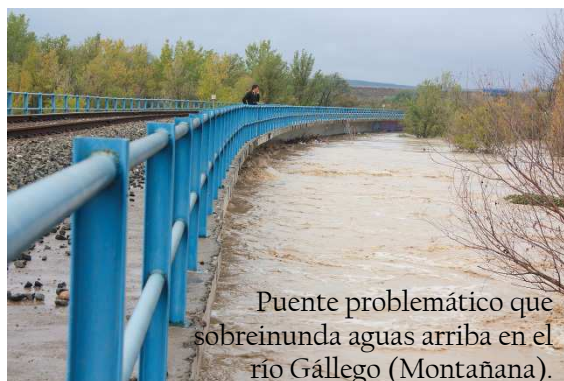
ELIMINACIÓN, REDIMENSIONAMIENTO O TRASLADO DE OBSTÁCULOS ANTRÓPICOS.

Una vez identificados todos los obstáculos en cauce, márgenes y llanuras de inundación y comprobados en su seguimiento los problemas que originan, puede optarse por dejarlos y mantener el seguimiento o bien por eliminarlos, o en algunos casos redimensionarlos, o bien trasladarlos a lugares fuera de riesgo.

En el marco de la restauración fluvial en todos los países se trabaja en la eliminación de estos obstáculos como objetivo prioritario, destacando la demolición de presas obsoletas cuyo uso o concesión ha caducado.

Los puentes problemáticos deberían ser sustituidos por otros de mayor altura sobre el cauce y mayor amplitud de vanos. En muchas ocasiones es muy problemático por el valor histórico y arquitectónico de estas estructuras.

Los vados deberían ser eliminados en la medida de lo posible, independientemente de su estado y de si son de obra o precarios, siendo sustituidos por puentes si su utilidad lo requiere. En casos en los que deban mantenerse habría que tratar de reducir su número, concentrando los pasos en el menor número posible de ellos y señalizando que se atraviesa un badén inundable y la prohibición de salir del camino y recorrer el cauce.



Puente problemático que sobreinunda aguas arriba en el río Gállego (Montaña).
Foto: Pilar Cabrero.

El derribo de presas se ha convertido en una práctica frecuente de restauración fluvial en Europa y Norteamérica. En España se han demolido más de un centenar en la última década. Por ejemplo, el 29 de septiembre de 2014 la Confederación Hidrográfica del Tajo derribó, mediante la voladura controlada del muro, la presa de Robledo de Chavela (Madrid) en el río Cofio, infraestructura obsoleta y peligrosa. Ha sido hasta el momento la mayor en España, con 22,7 metros de altura, 60 metros de coronación, 9.000 m³ de hormigón y 220.000 m³ de volumen de embalse. En los ríos donde se han eliminado presas se realizan seguimientos biológicos y geomorfológicos para comprobar la recuperación efectiva del ecosistema fluvial. Hasta ahora la mayoría de los derribos se han ejecutado con fines ecológicos, no de reducción del riesgo de inundación. En el caso de los puentes sí hay un ejemplo reciente de demolición por motivo de seguridad ante inundaciones: el puente de Bridgestone en Basauri, en el río Nervión, demolido en septiembre de 2014 por la Agencia Vasca del Agua URA. El puente contaba con un tablero de hormigón armado y una pila en el centro del cauce. Se va a sustituir por un puente nuevo con un único vano y sin pilas en el cauce.



Demolición presa de Robledo de Chavela (Madrid). Foto: MAGRAMA



Derribo presa de Mendaraz (Gipuzkoa). Foto. Diputación Foral.

29

REVISIÓN DE LA UTILIDAD Y ESTADO DE TODAS LAS ESTRUCTURAS DE DEFENSA.

Los actuales sistemas estructurales de defensa o contención deben ser inventariados y revisados en profundidad, analizando en cada caso su utilidad, coste-beneficio y estado. Hay que atender especialmente a que prioricen la protección de los núcleos habitados frente a la protección de zonas agrícolas.

En general, la retirada de defensas debe ser prioritaria respecto de la construcción de nuevos encauzamientos y, de acuerdo, con otras buenas prácticas, hay que tender a la eliminación o

retranqueo de motas para conseguir el mayor espacio de libertad fluvial posible.

Hay que plantear medidas de mantenimiento para las defensas que se considere que es necesario conservar.



Pueden consultarse como ejemplo diferentes estudios, y principalmente el Plan Medioambiental de 2005, en los que se han inventariado, caracterizado y evaluado las defensas del curso medio del Ebro, incluyéndose el análisis coste-beneficio del sistema.

30

SUSTITUCIÓN DE DEFENSAS DE MARGEN POR BIOINGENIERÍA Y SISTEMAS PORTÁTILES DE PROTECCIÓN.

No habría que proyectar nuevas defensas de margen, escolleras y canalizaciones, salvo en casos excepcionales. Como buena práctica hay que ir sustituyendo estos elementos por otros más naturales, por técnicas de bioingeniería o por sistemas portátiles de protección.

La primera opción si es necesario estabilizar las orillas sería hacerlo con vegetación, favoreciendo el crecimiento de ejemplares maduros y también de estratos herbáceos y arbustivos que sujeten el suelo, empleando técnicas de repoblación, siempre con especies autóctonas, e incluso reubicando en las orillas erosivas ejemplares ya maduros que hubieran de ser retirados de otras, aunque esta segunda posibilidad es de difícil viabilidad.

Por lo que respecta a las técnicas de bioingeniería, se han desarrollado considerablemente en las últimas décadas, basándose en el uso de las plantas vivas junto con otros materiales naturales (madera, rocas, mantas y redes orgánicas, etc.) y otros sintéticos (geotextiles, redes, geomallas...), incorporando y aprovechando el suelo y la topografía de la orilla.



Actuación en Cataluña. Fotos: Naturalea

En Europa son frecuentes las defensas portátiles, tanto para viviendas como para calles. Las más largas son sistemas hinchables o barreras de cierre automático. No hay que descartar la reserva de sacos terreros para cerrar o reforzar zonas débiles. La ventaja de las defensas portátiles es que no permanecen en el tiempo y por tanto dañifican menos el funcionamiento natural del río.

Las técnicas de bioingeniería más empleadas se iniciaron en Italia y Suecia, tanto para defensa como para restauración fluvial, y en la actualidad hay numerosas empresas en nuestro país con experiencia en su ejecución. Sin embargo, no hay experiencias en España con defensas portátiles.

31

CUBRIMIENTO O CAMUFLAJE DE LAS DEFENSAS IMPRESCINDIBLES.

Las defensas que no se hayan eliminado ni se hayan sustituido por técnicas de bioingeniería o sistemas portátiles (buenas prácticas anteriores) deberían quedar ocultas visualmente para evitar su impacto paisajístico. Se entiende que son defensas imprescindibles, que cuentan con una función irremplazable, de ahí que haya habido que mantenerlas en uso.

Las hoy tan extendidas y repetitivas escolleras constituyen un enorme impacto paisajístico en nuestros cauces, ya que, como señala con humor el experto suizo en restauración fluvial Bernard Lachat, “los bloques de roca no crecen de forma natural a orillas de los ríos de llanura”. Pues bien, cada vez encontramos más escolleras y cada vez son de bloques más grandes. Para taparlas no es suficiente con



Río Ebro

plantar sauces en sus resquicios, como se plantea en ocasiones. Además, esas plantas tienen seriamente comprometido el desarrollo, ya que cuando el grosor del árbol llega a los límites de los resquicios, sufre heridas en el cambium que pueden provocar la muerte del

ejemplar. Habría que cubrirlas totalmente de tierra vegetal, plantando encima. Evidentemente existe el riesgo de que el río llegue y erosione el cubrimiento, pero puede volver a ejecutarse. Ocultándolas visualmente pueden seguir siendo igual de efectivas, ya que cuando la erosión de la ribera alcanzase el punto defendido se encontraría con el tope establecido. Lo que hay que evitar por todos los medios es que la estética de las escolleras se imponga como algo connatural a los ríos, y se está muy cerca de lograrlo.

Si hubiera que construir nuevas defensas en situaciones muy justificadas, deberían contar con un análisis coste-beneficio que demuestre si la actuación es económicamente justificable, así como con un estudio de impacto ambiental previo y con medidas correctoras para minimizar todo lo posible sus efectos geomorfológicos y paisajísticos. Igualmente habría que establecer medidas compensatorias en otros tramos e iniciativas de restauración en los sectores fluviales afectados.

Cualquier actuación de encauzamiento o de modificación del cauce debería contar además con un informe previo de evaluación que observe si es compatible con los

preceptos de las directivas del Agua y de Inundaciones. A ello habría que añadir un estudio científico y técnico previo, elaborado por un equipo pluridisciplinar que analice todos y cada uno de los procesos hidrológicos, geomorfológicos y ecológicos que podrían desencadenarse o alterarse, tanto en el tramo afectado como en los demás tramos del sistema fluvial. Hay que establecer unas pautas metodológicas para el desarrollo y la valoración de estos estudios.



Escollera en el río Ara entre Boltaña y Aínsa. Los árboles insertados sufren muchos problemas para sobrevivir.

Cualquier actuación de defensa o encauzamiento debe ser considerado reversible y ejecutado como tal, en espera de que cambien los condicionantes y pueda ser retirado. En consecuencia, a los encauzamientos no se les adjuntarán o incorporarán infraestructuras o servicios (tuberías, gasoductos...) que los conviertan en necesarios o irreversibles. Habría que establecer una normativa que impidiera que actuaciones de defensa se consolidaran a causa de esa asociación de otros servicios.

Todos estos principios y diferentes ejemplos de actuación pueden consultarse en los informes de las mesas de trabajo de la Estrategia Nacional de Restauración de Ríos, descargables en la web del Ministerio (actualmente MAGRAMA).

32

EVITAR O LIMITAR ACTUACIONES DE ALTO IMPACTO.

Las actuaciones directas de alto impacto hidrogeomorfológico, como limpiezas de vegetación, dragados o vertidos de escombros, deberían estar legalmente prohibidas.

Ante la falta de legislación al respecto, se considera una buena práctica que a nivel de cuenca, comarcal o local, o en el marco de contratos de río, se tomen acuerdos que comprometan a impedir este tipo de actuaciones o a limitarlas a casos extremos rigurosamente justificados.

Esta buena práctica también procede de la Estrategia Nacional de Restauración de Ríos. Lamentablemente son prácticas que se realizan de forma indiscriminada en todo el territorio estatal, bien de manera furtiva, bien bajo el paraguas de las obras de emergencia post-crecida, bien legalizadas y justificadas con discutibles beneficios.

5.6. Propuesta de buenas prácticas en alerta, actuación, información y educación

El último grupo de buenas prácticas se centra en capacitar a la población afectada, de manera que se gane en resiliencia y se reduzca la vulnerabilidad. Los cuatro aspectos en que se incide, alerta, actuación, información y educación, son claves para la previsión y la prevención y responden a los principios de adaptación, precaución, durabilidad, resiliencia y responsabilidad.

33

REFUERZO DE LA RED S.A.I.H. COMO SISTEMA CLAVE DE ALERTA TEMPRANA.

La red S.A.I.H. es un excelente sistema de información, previsión y alerta temprana, además de acceso instantáneo y libre, por lo que las comunidades locales pueden conocer a tiempo real la posibilidad de verse afectados por una crecida y la evolución de esta. Así se permite la toma de decisiones rápida y coordinada.

Como buena práctica se propone el incremento progresivo de la red, su ampliación a cursos fluviales pequeños, incluidos los que presentan caudal hídrico esporádicamente.

En la segunda década del siglo XXI se ha ido reduciendo el presupuesto del S.A.I.H., de manera que se ha estancado su proceso de ampliación. Sería fundamental en la gestión de inundaciones reforzar esta línea y apoyar la consolidación del S.A.I.H.

34

PLANES DE EMERGENCIA Y CARTOGRAFÍA DE RIESGO POR ROTURA PARA TODAS LAS PRESAS Y EMBALSES.

La rotura de una presa es siempre una posibilidad, por lo que aguas abajo de todas las presas hay una situación de riesgo.

Muchas grandes presas cuentan con planes de emergencia y se han realizado recientemente simulaciones cartográficas que evalúan y delimitan los terrenos que se inundarían ante una eventual rotura. Estos terrenos serían en algunos casos mucho más extensos que la llanura de inundación natural. Los calados y velocidades también serían mucho mayores y los tiempos de propagación más cortos.

Estamos, por tanto, ante una situación de peligrosidad inducida, incrementada por acción humana, que puede superar con creces las dimensiones de cualquier crecida natural.

Ante esta enorme peligrosidad, habría que extender los planes de emergencia a todas las presas del territorio, así como disponer con rapidez de cartografía de las áreas que serían inundadas, cartografía que debería incorporarse al sistema estatal y a cartografías de cuenca y locales.

Se cuenta con la experiencia de numerosas roturas de presas o bien de grandes deslizamientos sobre masas de agua embalsadas a lo largo de la historia: Puentes, South Fork, Ribadelago, Malpasset, Vajont, Buffalo Creek, Tous, Shakidor, etc. Hay abundante documentación y guías técnicas oficiales sobre gestión de seguridad de presas y embalses. En España la elaboración de mapas de riesgo de inundaciones por rotura de presas responde a un imperativo legal, recogándose en la Directriz básica de planificación de Protección Civil ante el riesgo de inundaciones, en el Reglamento Técnico sobre Seguridad de Presas y Embalses de 1996 y en el Reglamento del Dominio Público Hidráulico.

35

PLAN DE EMERGENCIA LOCAL.

Como complemento a la gestión de emergencias por Protección Civil, se recomienda como buena práctica la elaboración y puesta en marcha de planes de emergencia locales, adaptados a las condiciones del área concreta y con protocolos de actuación específicos de máxima concreción.

En estos planes locales de emergencia, con los que debería contar cada núcleo urbano instalado en zona inundable, se debe priorizar la protección de las personas, informando directamente del riesgo en los núcleos y urbanizaciones afectadas y preparando y difundiendo “casa por casa” los planes de evacuación.

El plan de emergencia debe incluir medidas preventivas y de reducción que deben ser aprovechadas también como oportunidades en la fase de recuperación y como procesos de aprendizaje desarrollando capacidades a medio y largo plazo.

Se pueden promover ejercicios periódicos de preparación y simulacros de evacuación.

El Servicio de Protección Civil, creado en 1993 por el Gobierno de Aragón, asume la organización, planificación y prestación de la protección civil de la Comunidad Autónoma, así como la elaboración de los proyectos en materia de emergencias, protección civil y seguridad. El Plan Especial de Protección Civil ante Inundaciones en la Comunidad Autónoma de Aragón se puso en marcha en 2005 y “considera adecuado que los órganos competentes de los municipios o entidades locales elaboren y aprueben los Planes de Actuación Municipal ante el riesgo de inundaciones; establecerán la organización y actuaciones de los recursos y servicios propios, al objeto de hacer frente a las emergencias por inundaciones dentro del ámbito territorial.”

Resulta muy interesante el plan de emergencia de inundaciones de Donostia-San Sebastián para los habitantes que viven junto al río Urumea, con una serie de indicaciones en la web y una aplicación para el móvil asociada.

El protocolo de la ciudad de Avignon señala las principales recomendaciones a la población en sus casas:

Antes:

- preparar radio a pilas, linterna, papeles personales, medicinas urgentes, ropa
- poner en seco muebles, objetos, materiales y productos
- obturar las entradas de agua
- estacionar los vehículos
- conservar una reserva de agua y alimentos

Durante:

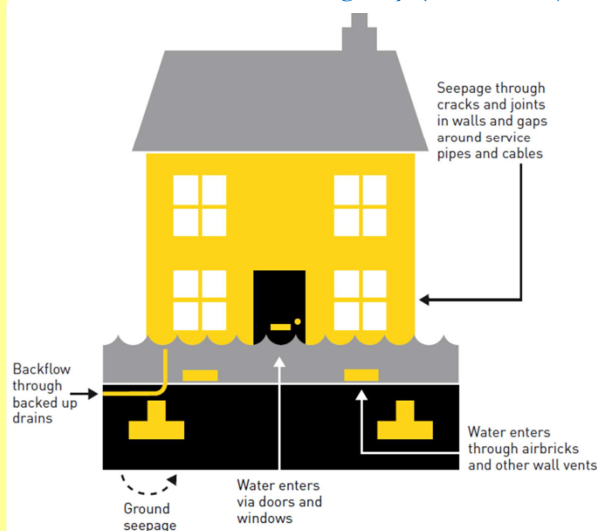
- no coger el coche
- no ir a buscar a los niños al colegio
- cortar la electricidad y el gas con precaución
- subir a los pisos altos
- seguir las consignas por radio (sin electricidad)
- no evacuar si no se ha recibido la orden
- no beber agua de pozos ni de la red

Después:

- ventilar la vivienda
- desinfectar con productos clorados
- calentar en cuanto sea posible
- no restablecer la corriente eléctrica hasta que la instalación esté seca.



Esquema en “Prepare for flooding. A guide for residents and businesses”. Scottish Environment Protection Agency (SEPA, 2011)



36

PARTICIPACIÓN PÚBLICA EN PROTOCOLO DE ACTUACIÓN, EN MITIGACIÓN Y EN PLAN DE RECUPERACIÓN.

Tanto los protocolos de actuación en emergencia como todas las medidas de mitigación y los planes de recuperación deben ser públicos, tanto en su gestión como en su preparación, que debe contar con un proceso de participación ciudadana. Los resultados deben recogerse en un manual también de uso público.

La participación se promoverá mediante la adopción de políticas específicas, el fomento de la acción concertada, la gestión estratégica de los recursos de voluntarios, la atribución de funciones y responsabilidades y la delegación y transferencia de la autoridad y los recursos necesarios.

En el protocolo de actuación se trabajará en las líneas de emergencia, además de en seguridad alimentaria y de abastecimiento.

En mitigación se trabajará en las zonas conflictivas en las que ya se haya producido una ocupación de la llanura de inundación por parte de bienes o actividades vulnerables, fomentándose la

búsqueda colectiva de soluciones que sean viables técnica, económica, ambiental y socialmente. También se reforzarán y adaptarán al riesgo los servicios fundamentales, protección social, instalaciones públicas e infraestructuras clave.

En el plan de recuperación y rehabilitación se puede participar en forma de voluntariado.



Hay muchos núcleos de población, especialmente ciudades de Europa y América, que cuentan con programas y manuales públicos de actuación ante inundaciones. En España las centraliza Protección Civil, de manera que son escasos los protocolos públicos publicados y son aplicables a emergencias generales.

37

GUARDERÍA FLUVIAL PREVENTIVA.

La vigilancia permanente del buen funcionamiento fluvial es una buena práctica que puede permitir evitar situaciones negativas cuando llegue la crecida. En ocasiones se registran vertidos no controlados, o remociones furtivas de gravas, o se arrojan basuras y enseres. Todo ello puede alterar los procesos de crecida y desbordamiento o incorporar flotantes y elementos indeseados al flujo. Son impactos puntuales difíciles de advertir, por lo que es fundamental contar con personas que estén al tanto del río y puedan informar de estos posibles impactos. Los guardas fluviales son los encargados oficiales de estas tareas, pero es imposible acceder a toda la red fluvial y abarcar muchos kilómetros de cauce para una sola persona. Sería aconsejable un refuerzo de esta misión, bien con más plazas de guardería fluvial, bien con el apoyo del voluntariado local.

Incrementar la guardería fluvial preventiva debería ser una medida prioritaria, por tanto, en la gestión de inundaciones y ambiental.

Un guarda fluvial de la cuenca del Ebro tiene que atender una superficie media de unos 700 km² y sus funciones de apoyo van mucho más allá de la vigilancia. Los recursos en otras demarcaciones hidrográficas son menores. Se interactúa con otras administraciones, pero el apoyo de los habitantes ribereños es imprescindible para una vigilancia más extensa y eficaz.

38

PROGRAMAS DE EDUCACIÓN AMBIENTAL EN EL RIESGO.

La educación de la sociedad en los riesgos naturales forma parte de la educación ambiental y debe avanzar desde la concienciación hasta la acción.

Es fundamental educar sobre los riesgos y conseguir que la población sea consciente y esté bien informada de las consecuencias de las inundaciones en su territorio, para mantener la precaución y evitar el exceso de confianza. Hay que partir del conocimiento del río y de sus procesos, sensibilizar sobre sus valores, concienciar sobre la peligrosidad y nuestra situación de riesgo, capacitar para la adaptación y para la participación, promover el voluntariado y llegar a actuar en la prevención, en la mitigación y en la reconstrucción, comprendiendo las repercusiones ambientales de todo ello. Este programa educativo debe ser útil también para aprender de cada crecida. Para todo ello hay que establecer programas dinámicos de educación ambiental específica destinados al conjunto de la población.



Foto. Ecoter

No existe un programa que sirva de ejemplo en España, aunque sí abundantes aportaciones en Sudamérica y Europa. Suelen ser aplicaciones simples, que no llegan a todos los aspectos de interés. Hay suficientes fundamentos, expertos y plataformas que pueden servir a esta buena práctica, desde materiales didácticos hasta centros de interpretación que pueden adaptarse a los contenidos necesarios.

39

TRABAJAR EL RIESGO DE INUNDACIÓN EN LA EDUCACIÓN REGLADA.

Del mismo modo que para el conjunto de la sociedad a través de la educación ambiental, en la educación reglada en todos los niveles habría que hacer un esfuerzo por introducir y desarrollar la temática del riesgo de inundación y su gestión.

El sistema educativo en su conjunto debe incidir fundamentalmente en que la reducción del riesgo no se va a conseguir luchando contra el peligro (las crecidas), sino reduciendo en la medida de lo posible nuestra exposición al mismo y haciéndonos menos vulnerables gracias a herramientas de ordenación.

A nivel local en áreas de riesgo habría que promover la implementación de programas especiales sobre preparación, evaluación y mitigación en los centros de enseñanza. Habría que preparar materiales didácticos específicos y contar con exposiciones itinerantes y otros mecanismos y herramientas.

La Dirección General de Protección Civil editó en 2003 un programa para centros escolares con guía didáctica para profesores sobre riesgo de inundaciones. En Francia hay programas muy interesantes, por ejemplo el del río Gard. El tratamiento del tema en el currículo escolar español es muy escaso y desde una perspectiva muy restringida. En la Universidad de Zaragoza se imparten asignaturas de gestión de riesgos naturales en los grados de Geografía, Geología y Ciencias Ambientales, pero no hay estudios de máster específicos.

40

PROGRAMAS DE FORMACIÓN TÉCNICA.

La concienciación y formación de los responsables de los municipios es fundamental para poder implantar todas las buenas prácticas expuestas. Es necesario desarrollar programas formativos sobre esta temática a los diferentes agentes del territorio, programas que deben fomentar ante todo el intercambio de experiencias.

Con estos programas hay que ir construyendo una nueva forma de entender y valorar los ríos y sus riesgos. Hay que lograr ese cambio de visión que hemos propugnado a lo largo de toda la guía.

Hacen falta recursos humanos bien formados para trabajar en la gestión de inundaciones. Con mayor capacitación estaremos mejor preparados para los futuros eventos, para su evaluación, diagnóstico y pronóstico, para la toma de decisiones y para encaminar la mitigación y la recuperación.

Estos programas de formación técnica deben extenderse también para el voluntariado, consolidando así las capacidades locales.

También es necesario fortalecer la capacidad técnica y científica para encontrar, elaborar y aplicar nuevas metodologías, modelos y medidas de actuación.

La presente guía de buenas prácticas pretende ser una modesta aportación en esta línea. Existen muchos profesionales cualificados para implantar estos programas por todo el territorio, así como una base científica y técnica consolidada de metodologías y experiencias.

41

PROTOCOLO OBLIGATORIO DE INFORMACIÓN DEL RIESGO.

Es necesario y urgente en todos los casos proporcionar información clara sobre las zonas en riesgo de inundación y debería constituir un delito ocultar esta información, como se ha hecho en muchas ocasiones favoreciendo la especulación y la implantación de usos vulnerables sobre terrenos en riesgo. Debería, por tanto, implantarse un protocolo obligatorio de información del riesgo que incluya datos concretos, cartografía de detalle y recomendaciones.

Es evidente que los daños pueden reducirse considerablemente si la población está bien informada y motivada para asumir una cultura de prevención y de resiliencia, lo que impone la necesidad de reunir, compilar y divulgar los conocimientos e información pertinentes sobre las amenazas, los factores de vulnerabilidad y las distintas formas de protección. La información debe incorporar los conocimientos autóctonos y el patrimonio cultural y adaptarse a los factores culturales y sociales de los destinatarios.

En España se carece de este protocolo, pero se cuenta con la base importante de la cartografía del SNCZI, cuyo visor puede ser consultado por cualquier ciudadano a través de internet. Es fundamental extender esta cartografía a toda la red fluvial, como se propuso en la buena práctica 4. Estos mapas no solo sirven para la consulta, sino que deberían ser preceptivos y vinculantes, pruebas legales en conflictos, como se señaló en la buena práctica 3.

42

PARTICIPACIÓN DE LOS MEDIOS DE COMUNICACIÓN

Hay que promover esta participación para fomentar una cultura del riesgo que permita huir de la falsa seguridad y del catastrofismo y para reforzar la resiliencia. Pueden ayudar de forma decisiva a la participación ciudadana y a la educación y a la información, en la línea de lo planteado en las buenas prácticas anteriores.

Ahora bien, es fundamental realizar cursos de formación para profesionales de medios de comunicación, ya que es evidente el desconocimiento generalizado sobre el funcionamiento fluvial, que repercute en informaciones sesgadas hacia los efectos negativos en exclusiva de crecidas e inundaciones.

La publicación del artículo científico “Núcleos de población en riesgo de inundación fluvial en Aragón: diagnóstico y evaluación para la ordenación del territorio” en 2008 suscitó el interés de los medios de comunicación aragoneses, que tanto entonces como después de forma periódica se han puesto en contacto con los autores (Domenech et al.) para nuevas entrevistas y actualizaciones. Sin embargo, el tratamiento final de la noticia ha sido generalmente muy superficial, llamando la atención sobre las consecuencias pero sin profundizar en los factores y en las cuestiones de fondo del problema.

43

REDES DE INTERCAMBIO DE LAS BUENAS PRÁCTICAS.

El intercambio de competencias, conocimientos y experiencia es fundamental para poner en práctica todas las acciones y propuestas posibles para la mejora de la gestión del riesgo de inundación.

Hay que fomentar y fortalecer las redes y la asociación entre los expertos (grupos científicos y profesionales), los planificadores y los encargados de la gestión en todos los sectores y entre todas las regiones y países, y establecer o reforzar los procedimientos para utilizar los conocimientos especializados disponibles en la preparación de planes comarcales y locales de reducción de los riesgos.

Las nuevas tecnologías de la información y la comunicación, ya al servicio de la predicción, permiten también consolidar estas redes de trabajo, intercambio y divulgación de resultados.

Hay que establecer directorios e inventarios locales, nacionales, regionales e internacionales de fácil consulta y sistemas y servicios de puesta en común de información y experiencias sobre tecnologías, buenas prácticas y lecciones aprendidas.

Programas europeos de investigación científica y desarrollo tecnológico han financiado numerosos proyectos internacionales sobre inundaciones y gestión de riesgos. La Secretaría de Estado de I+D+I fomenta y financia redes temáticas de trabajo entre grupos científicos, modelo al que podría acogerse una iniciativa como la de esta buena práctica. Blogs y páginas web especializadas también constituyen una buena base de información e intercambio.

44

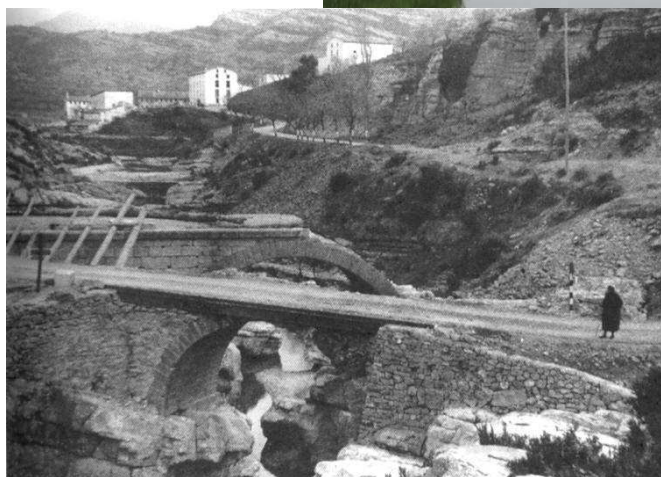
PLANES COMARCALES Y LOCALES DE GESTIÓN DEL RIESGO.

En definitiva, y a modo de colofón, todas las buenas prácticas expuestas pueden y deben integrarse en un Plan de Gestión del Riesgo.

De cara a su efectividad y manejabilidad, la escala espacial de dicho plan debería ser de pequeña cuenca, o bien comarcal o local. Para espacios más extensos se pierde la visión integrada del territorio y de todas las medidas. Porque hay que gestionar las inundaciones preferentemente en las mismas zonas de riesgo.

5.7. Aplicación al río Matarraña

Con una cuenca de 1.727 km² y un cauce de 113 km de longitud, el río Matarraña presenta una amplia variedad de morfologías fluviales, mostrando la típica sucesión de paisajes encajados en la cabecera montañosa, cauce trenzado por abundante acumulación sedimentaria en el curso medio y un curso bajo de grandes curvas hasta el Ebro. Tanto el Matarraña y sus principales afluentes Ulldemó, Pena, Tastavins y Algars, nacen y atraviesan los Puertos de Beceite-Tortosa, que se sitúan en el NE de la Cordillera Ibérica entroncando con la Cadena Costero Catalana. No se superan los 1.400 m de altitud, pero el relieve es abrupto y la red fluvial se encaja en profundos cañones, incluyendo barrancos de fuerte desnivel. En sus tramos medios, ya en el somontano ibérico, el valle se abre y confluyen Pena y Tastavins. Ya en el curso bajo, circulando por la Depresión del Ebro, el Matarraña describe meandros hasta recibir al Algars y de inmediato verter sus aguas al Ebro en el embalse de Ribarroja. El Matarraña es LIC en casi la totalidad de su recorrido. Las principales alteraciones en el cauce se deben a los numerosos azudes y vados, también abundantes en sus afluentes. En las siguientes imágenes se demuestra la enorme variedad y riqueza del Matarraña y sus afluentes, un patrimonio fluvial de gran valor que ejemplifica toda la geomorfología fluvial de los cursos ibérico-mediterráneos.



Efectos de la crecida de julio de 1957 en Beceite. Recopilada por J. de Luna.



Confluencia Matarraña-Tastavins. PNOA (CINTA)



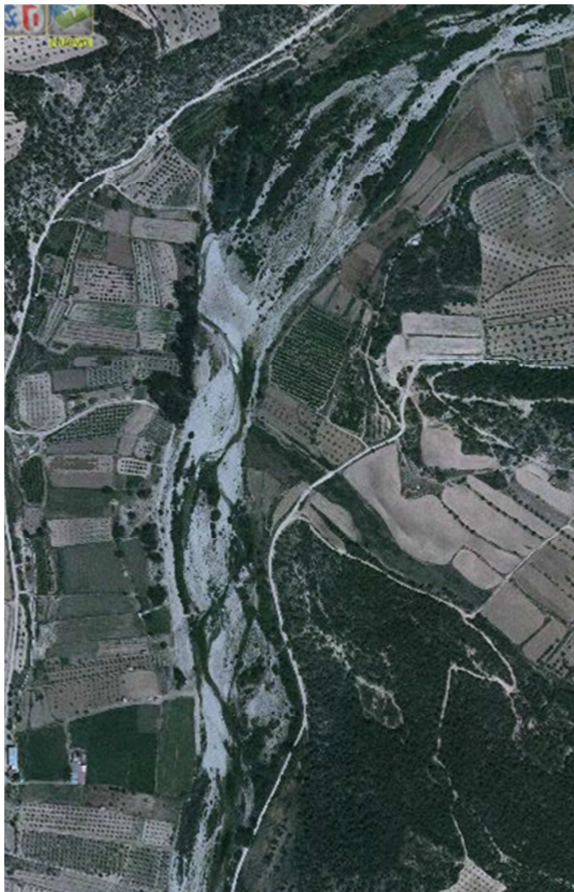
Puente de Torre del Compte



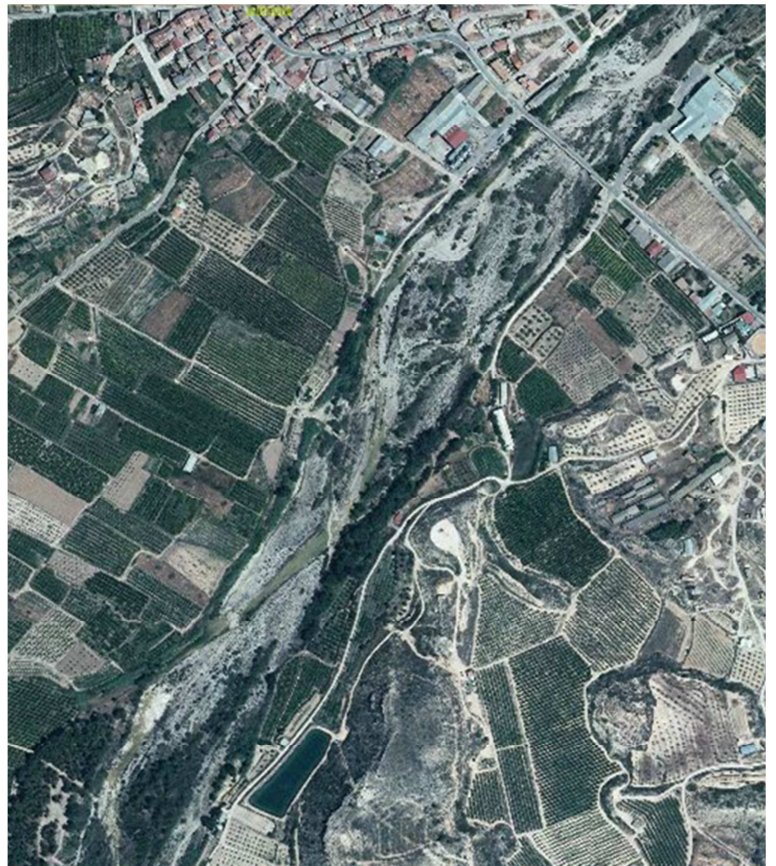
Lecho rocoso con formas alveolares encima del Salt de La Portellada (río Tastavins)



Matarraña entre Torre del Compte y Mazaleón. Foto: PNOA (CINTA)



Tramo trenzado del Matarraña aguas abajo de Torre del Compte. Foto: PNOA (CINTA)



Matarraña en Maella. Foto: PNOA (CINTA)



Tramo trenzado en fondo de valle meandriforme de alta sinuosidad, curso bajo del Matarraña (Fabara).



Confluencia Matarraña-Algars en Nonaspe.



Matarraña desde el puente de Torre del Compte. Foto. Askoa Ibisate

Las crecidas del Matarraña y sus afluentes son frecuentes, destacando por su caudal las de otoño, que responden a eventos de precipitación típicos del ámbito mediterráneo. Así ocurrió en octubre de 1793, en octubre de 1919, en octubre de 1957 y en octubre de 2000. En el Plan Especial de Protección Civil ante Inundaciones en la Comunidad Autónoma de Aragón (2005) se considera en general una cuenca de alta peligrosidad, tanto en sus cauces principales como en barrancos y vales. En dicho plan se inventarió un buen número de construcciones, en su mayoría aisladas, y otros elementos en riesgo.



Puente del río Tastavins en Peñarroya tras la crecida del año 2000. Foto de F. Montero



Puente de Valderrobres, 23 de octubre de 2000. Foto de F. Montero



Río Algars en Arens de Lledó, 29-11-2014 (Diario de Teruel)

Las buenas prácticas planteadas en la presente guía serían perfectamente aplicables a la cuenca del Matarraña. La experiencia del contrato de río y la participación frecuente de la población son unas bases excelentes para ir implantándolas. Por ejemplo, sería muy útil ganar espacio para el río en zonas de confluencia así como en el entorno de Valderrobres, Mazaleón y Maella. Se impone revisar la capacidad de todos los puentes, derribar algún azud obsoleto y eliminar vados, así como revisar la situación de edificaciones aisladas. En la siguiente tabla se marcan, señalándose en rojo buenas prácticas que convendría abordar con urgencia y en naranja las recomendables pero no tan urgentes. Para especificar tramos o puntos concretos de aplicación habría sido necesario un estudio muy profundo que excedía los objetivos de esta guía. Este es, por tanto, un apartado abierto e inconcluso, que deben completar y enriquecer los habitantes del Matarraña. Sobre la base de las 44 buenas prácticas planteadas es el momento de ponerse a trabajar.

1. Panel científico-técnico-institucional permanente <i>No aplicable al Matarraña, sino a escala de demarcación hidrográfica o gran cuenca</i>	✗	
2. Conocimiento y seguimiento hidrogeomorfológico del río	✓	
3. Delimitación del espacio inundable y cartografía de peligrosidad y riesgo	✓	
4. Ampliar cartografía y gestión a toda la red fluvial	✓	
5. Integrar sinergias con inundaciones urbanas y litorales <i>Mazaleón, Valderrobres y Beceite</i>	✓	
6. Evaluación permanente del riesgo	✓	
7. Definición de un territorio para el río	✓	
8 Identificación y búsqueda participativa de soluciones para áreas en conflicto	✓	
9. Devolución efectiva de espacio al río	✓	
10. Conservación o restauración del funcionamiento natural del río	✓	
11. Humedales y áreas de expansión lateral <i>Estudio previo</i>	✓	
12. Rebaja de terrenos inundables sobreelevados <i>Estudio previo</i>	✓	
13. Declaración oficial de territorio de riesgo <i>Consulta pública y comparación con otras áreas</i>	✓	
14. Nuevos planes de ordenación territorial controlada en áreas inundables	✓	
15. Adaptación de usos del suelo a la inundabilidad	✓	
16. Revisión de los planes de ordenación urbana y otras normativas asociadas	✓	
17. Desurbanizar áreas inundables <i>Estudio previo</i>	✓	
18. Establecimiento de normas de construcción que reduzcan el riesgo	✓	
19. Espacios urbanos abiertos junto al río	✓	

20. Evaluación de inundabilidad e impacto ambiental para cualquier actuación	✓	
21. Evaluación y control ambiental en actuaciones post-crecida	✓	
22. Sistema de seguros	✓	
23. Cartografía de detalle en confluencias y otros puntos singulares	✓	
24. Normativa restrictiva en confluencias y otros puntos de especial riesgo	✓	
25. Identificación y seguimiento de acumulaciones naturales	✓	
26. Reubicación y restauración geomorfológica de acumulaciones naturales peligrosas	✓	
27. Identificación y seguimiento de obstáculos antrópicos	✓	
28. Eliminación, redimensionamiento o traslado de obstáculos antrópicos	✓	
29. Revisión de la utilidad y estado de todas las estructuras de defensa	✓	
30. Sustitución de defensas de margen por bioingeniería y sistemas portátiles de protección	✓	
31. Cubrimiento o camuflaje de las defensas imprescindibles	✓	
32. Evitar o limitar acciones de alto impacto	✓	
33. Refuerzo de la red S.A.I.H. como sistema clave de alerta temprana <i>Competencia de la demarcación hidrográfica. Se necesita una estación de aforo en el Tastavins.</i>	✗	
34. Plan de emergencia local <i>Calaceite, Cretas, Fuentespalda, Nonaspe, Torre del Compte, Valdetormo, La Fresneda, Maella, Mazaleón y Valderrobres.</i>	✓	
35. Planes de emergencia y cartografía de riesgo por rotura para todas las presas y embalses <i>Actualizar y aprobar plan del embalse de Pena.</i>	✓	
36. Participación pública en protocolo de actuación, en mitigación y en plan de recuperación	✓	
37. Guardería fluvial preventiva	✓	
38. Programas de educación ambiental en el riesgo	✓	
39. Trabajar el riesgo de inundación en la educación reglada	✓	
40. Programas de formación técnica	✓	
41. Protocolo obligatorio de información del riesgo	✓	
42. Participación de los medios de comunicación	✓	
43. Redes de intercambio de las buenas prácticas	✓	
44. Planes comarcales y locales de gestión del riesgo	✓	

6 Conclusiones

Las crecidas fluviales son necesarias en el funcionamiento hidrológico, geomorfológico y ecológico de las cuencas continentales y de los océanos y nos aportan múltiples beneficios ambientales. Las inundaciones fluviales son sistemas de autorregulación energética que precisamente tienden a frenar los procesos de crecida, por lo que reducen el peligro. Crecidas e inundaciones no son una catástrofe, lo que genera la catástrofe es nuestra ubicación consciente o inconsciente en terrenos inundables. Cualquier estadística mundial o estatal sobre daños por inundaciones muestra un incremento exponencial de los mismos, y no es porque haya más crecidas sino porque cada vez nos comportamos con menos inteligencia en las áreas inundables. Porque las zonas inundables se inundan, y solo respetando el territorio fluvial nos respetamos a nosotros mismos, evitando así lamentaciones futuras. Hay que tener en cuenta que el riesgo de inundación es prácticamente universal, por la superficie expuesta y por la elevada frecuencia de eventos hidrológicos extremos. La gestión de inundaciones es, por tanto, una tarea imprescindible e irrenunciable para cualquier sociedad.

Hay que aprender a convivir con las inundaciones y el primer paso es no verlas como un enemigo. El sistema educativo y los medios de comunicación deben incidir fundamentalmente en el hecho de que reducción del riesgo no se va a conseguir luchando contra el peligro (las crecidas), sino reduciendo en la medida de lo posible nuestra exposición al mismo y haciéndonos menos vulnerables gracias a la herramienta de la ordenación del territorio. Contamos con cartografía de áreas inundables y con sistemas de alerta y de evacuación. Si a esto se añadiera una buena planificación adaptada de usos del suelo en los espacios inundables, en la línea que establece la Directiva de inundaciones, no habría nada más que temer, simplemente convivir. Así, recuperar la funcionalidad de las llanuras de inundación devolviendo al río un espacio útil para el desbordamiento es una buena práctica fundamental.

El conocimiento científico y técnico es cada vez elevado, pero no llega bien a la población y se falla también en la puesta en práctica de medidas concretas de gestión, sobre todo las relacionadas con la ordenación del territorio, asignatura pendiente tras décadas de excesivo crecimiento urbano y residencial. Existe, por otro lado, una larga inercia de actuaciones en cauces que no solucionan y generan importantes afecciones a veces contraproducentes. Tanto los trabajos científicos como los documentos legislativos más recientes reconocen este problema y demandan otro tipo de soluciones, pero sin embargo se sigue actuando así en la inmensa mayoría de los casos. Esta situación debería ser cortada de raíz, para lo cual es necesario invertir con urgencia en alternativas como las planteadas aquí como buenas prácticas.

Hay que gestionar las inundaciones en las mismas zonas de riesgo, no con grandes planes, sino con pequeños planes locales. Y, en la práctica, son el sentido común, la experiencia, el buen conocimiento del río y la prudencia mucho más útiles que todos los planes de gestión apoyados en normativas y periodos de retorno. La geomorfología y la ciencia geomorfológica nos ayudan a conocer la peligrosidad del río con más fiabilidad que los modelos hidrológicos e hidráulicos.

Con la puesta en marcha efectiva de buenas prácticas que integren la gestión de inundaciones y la sostenibilidad ambiental será posible mitigar el riesgo reduciendo daños y, de forma paralela, manteniendo o aumentando los beneficios que nos aportan los ríos.

Glosario

Abiótico. Se refiere a los componentes inertes o sin vida del medio natural, es decir, básicamente a los elementos minerales, la geología, la topografía, el clima y al agua, en contraposición a lo biótico (los seres vivos, vegetación y fauna). La hidrología y la geomorfología estudian los elementos abióticos del sistema fluvial, es decir, el agua, los sedimentos, las rocas, el cauce, las laderas, etc. Los factores abióticos del medio son básicamente físico-químicos.

Acreción. Dinámica vertical en un cauce (aplicable tanto al cauce menor como a la llanura de inundación) marcada por el crecimiento o elevación de los sedimentos, debido al predominio de la deposición sobre la erosión. Es lo contrario, por tanto, a la incisión.

Aluviones. Materiales detríticos transportados y depositados por la dinámica fluvial. Proceden de aguas arriba o bien directamente de las vertientes, en cuyo caso se convierten de coluviones a aluviones al llegar al cauce. Aluvión es también sinónimo de crecida en algunas regiones, sobre todo cuando lleva mucho caudal sólido.

Año hidrológico. Periodo de doce meses en los que se mide y analiza la evolución de las reservas de agua en los embalses. Su duración es del 1 de octubre al 30 de septiembre. Se ha extendido su empleo a todo tipo de análisis hidrológicos.

Avulsión. Creación de un nuevo cauce por abandono del cauce principal, normalmente durante la fase de inundación de una gran crecida. El proceso de avulsión implica un cambio radical y rápido en la forma y posición del cauce. Las avulsiones son frecuentes en cauces de importante acreción sedimentaria, siendo el mecanismo básico de formación de un cauce con múltiples brazos. Los procesos de avulsión más espectaculares por la distancia de desplazamiento se dan en grandes ríos cuya llanura de inundación tiene un perfil transversal convexo.

Bankfull. Situación a “orillas llenas”, a punto de desbordamiento, que define la anchura total del cauce menor y otros parámetros hidráulicos e hidrológicos. Es una situación bastante estable en el tiempo, aunque cambia con la dinámica fluvial, pero desde luego mucho más estable que cualquier otra situación hidrológica, ya que sus límites y dimensiones son geomorfológicas.

Barra. Depósito sedimentario fluvial que puede estar total o parcialmente sumergido dentro del cauce o conformando la orilla. Su tipología es muy variada: barras laterales (estrechas, adosadas a las márgenes), barras de meandro (con planta de media luna, formando la orilla convexa o interna), barras longitudinales (en el centro del cauce, formando una isla, aguas abajo en forma de punta de flecha), barras transversales (en realidad diagonales a la corriente, romboidales, propias de cauces trenzados), etc. Normalmente los sedimentos que forman la barra se ordenan de forma granodecreciente hacia aguas abajo. Gravas y arenas se imbrican y se orientan con el eje principal paralelo a la dirección de la corriente.

Bentónico. Hace referencia al bentos, es decir, a la comunidad de seres vivos que habitan el lecho, el fondo del río (también en lagos y mares), la zona hiporreica, la orilla del cauce menor. Los macroinvertebrados bentónicos se utilizan como indicadores de calidad biológica en las evaluaciones demandadas desde la directiva europea del agua.

Bioingeniería. Disciplina específica de la ingeniería que estudia las propiedades técnicas y biológicas de las plantas y fragmentos vivos de especies autóctonas y su utilización, de forma aislada o en combinación con materiales inertes como la piedra, el acero, la madera, para utilizarse como elementos de construcción en obras de defensa o de recuperación ambiental con finalidades de estabilización de márgenes o control de la erosión.

Cauce. Elemento geomorfológico que se encarga del transporte del caudal hídrico y sólido del sistema fluvial, de manera que su forma y dimensión están supeditadas a su función. Simple o múltiple, rectilíneo, meandriforme, trenzado, divagante..., presenta cierto encajamiento que permite su delimitación, y por él circula el caudal la mayor parte de los días del año. Bajo esta definición también puede hablarse de cauce menor, a diferencia del cauce mayor o llanura de inundación.

Caudal. Capacidad de flujo que transporta un curso fluvial en un periodo de tiempo determinado, relacionada con el volumen y con la velocidad, que a su vez depende de la pendiente y de la rugosidad del lecho. El caudal puede expresarse de forma absoluta (en metros cúbicos/segundo) o

relativa (en litros/segundo/kilómetro cuadrado de cuenca) y como aportación (en hectómetros cúbicos/año o mes). Se compone de una parte líquida (agua) y otra sólida (sedimentos, materia orgánica...).

Caudal bankfull. Caudal circulante con el cauce menor lleno, a punto de desbordarse. Es, por tanto, el umbral de desbordamiento, por lo que puede ser utilizado para diferenciar aguas altas de crecidas. Se puede estimar a partir de diversas ecuaciones o bien más correctamente en el campo analizando la topografía de las orillas, elaborando el perfil transversal y aplicando fórmulas como la de Manning (1891). Roberts (1989) ha demostrado que el periodo de retorno medio del caudal de bankfull es de 1,5 años, pero que en ríos que circulan sobre terreno permeable esta recurrencia supera los 2 años, mientras en cauces impermeables oscila entre uno y ocho meses.

Caudal geomórfico. Caudal hídrico capaz de transportar la máxima carga sólida, contando al mismo tiempo con la máxima capacidad de modificación de las márgenes y el fondo del cauce. De acuerdo con este concepto la morfología y dimensiones del cauce son modeladas y ajustadas por sobrantes energéticos que la corriente ya no invierte en transportar. Básicamente se puede considerar que el caudal geomórfico más efectivo es el de bankfull o cauce menor lleno, sin disipación por desbordamiento, ya que es el proceso de máxima velocidad y energía de la corriente.

Confluencia. Punto geomorfológico de unión de dos cursos de agua de la misma red hidrográfica. El más corto o menos caudaloso se considera afluente del otro. Generalmente la suma de caudales de los ríos que confluyen da como resultado un cauce más profundo con un incremento de la dinámica fluvial en los primeros metros.

Corredor ribereño. Espacio que incluye el cauce y las riberas y cuyo límite externo viene a estar marcado por la movilidad lateral histórica del cauce. Es la banda central de la llanura de inundación, la franja que integra el cauce, su cortejo de bosques ribereños y los paleocauces más recientes. Las interacciones entre cauce y riberas son muy intensas y garantizan una altísima diversidad biogeoquímica, física y biológica en este corredor. También generan un microclima especial de mayor humedad y menor amplitud térmica que puede contrastar notablemente con el exterior. En suma, dado que incluye el cauce, el corredor ribereño integra un corredor terrestre y otro acuático, y ambos son importantes vías para la dispersión y migración de especies.

Coraza. En la mayoría de los cauces son de grano más grueso las capas superficiales del lecho que las capas profundas. Este acorazamiento se explica por transporte

selectivo, ya que en aguas medias y altas sólo el material fino es barrido, movilizado por la corriente, quedando el grueso entrelazado en superficie, formando un pavimento (armouring) que sólo crecidas considerables pueden remover. Una situación extrema de acorazamiento se da al pie de muchas presas, donde se forman auténticos pavimentos de grandes bloques, a modo de “lecho fósil”. El caudal de ruptura de la coraza puede ser estimado por diferentes fórmulas.

Corta de meandro. Procesos muy rápidos, bien naturales, bien antrópicos, que suponen cambios radicales del trazado del cauce, cuando la corriente fluvial busca un recorrido más corto y de mayor pendiente hacia aguas abajo, generalmente abandonando un tramo curvo y cortándolo por algún sector de su cuello o lóbulo. Significan los cambios más bruscos de la dinámica fluvial y son origen de cauces abandonados con una dinámica propia compleja y original. La consecución de una corta provoca una importante revitalización de la erosión de las márgenes, ya que el cauce tenderá a recuperar otra vez su trazado sinuoso.

Crecida. Proceso natural, sin periodicidad y de grandes consecuencias ambientales, constituido por un incremento importante y repentino de caudal en un sistema fluvial. Lleva consigo un ascenso del nivel de la corriente, que puede desbordar el cauce menor para ocupar progresivamente el cauce mayor, hasta alcanzar un máximo o punta de caudal o caudal-punta y descender a continuación. El incremento de caudal supone un incremento de los flujos de energía (inputs y outputs) a través del sistema, que necesita estos procesos extremos para su propio equilibrio dinámico. Para definir un proceso hidrológico como crecida es imprescindible diferenciarlo respecto de cualquier proceso de aguas altas estableciendo un umbral hidrológico.

Cuenca (hidrográfica o vertiente). Es la parte de la superficie terrestre drenada por un sistema fluvial unitario. Su perímetro está constituido por la divisoria de aguas. Hay que entender la cuenca como un sistema natural abierto que recibe materia y energía desde el clima y los procesos geomorfológicos y la pierde a través del caudal líquido y sólido. La cuenca es una unidad superficial básica en la planificación física y en la ordenación del territorio.

Desbordamiento. Proceso de superación del nivel de bankfull o cauce menor lleno, de manera que la corriente fluvial en crecida se sale del cauce menor y puede ir ocupando progresivamente el cauce mayor o llanura de inundación. Se trata de un mecanismo de ampliación espacial y de disipación de energía dentro del proceso de crecida. De forma muy simplificada, se pueden distinguir tres grandes tipos de desbordamiento. En llanos de inundación ausentes o de perfil transversal cóncavo (generalmente en cursos altos y medios)

se registra una elevación progresiva del nivel de las aguas (in-flood), de manera que el proceso es relativamente lento y de fácil previsión. En cambio, en llanos inundables de perfil transversal convexo (algunos cursos bajos), en los que el cauce menor no coincide con el talweg, sino que circula a mayor altura elevado en sus propios sedimentos, se produce un desparramamiento (out-flood, overtopping) desde el río hacia las cotas más bajas del área adyacente. Esta situación es muy peligrosa, ya que el desbordamiento se produce allí donde se rompe el levee o dique natural, produciendo grandes socavaciones. Además, la inundación se extiende sobre una amplia área y el encharcamiento es muy prolongado, por la dificultad de evacuación del agua. En un valle de perfil cóncavo se puede dar también esta situación en los tramos con defensas de margen, que sobreelevan el cauce menor sobre el nivel del llano de inundación. El tercer tipo de desbordamiento es el que suele darse en los conos aluviales, donde el agua se expande en manto sobre toda la superficie (sheet-flood).

Dinámica fluvial. Conjunto de complejos procesos activos y cambios geomorfológicos de los sistemas fluviales (migraciones y cambios de trazado de cauces, orillas erosionadas o con depósitos sedimentarios, etc.) tanto en su componente espacial (a lo largo del eje fluvial, así como transversal y vertical) como en su evolución temporal.

Emergencia. Situación con dificultades de control en un ámbito de riesgo, para la que se establecen unos protocolos y dispositivos de prealerta, alerta, alarma y actuación definidos en planes previos.

Erosión. Proceso o conjunto de procesos geomorfológicos que generan una sustracción superficial de masa sólida al suelo o a la roca. La erosión hídrica la ejercen las gotas de lluvia y sobre todo la escorrentía superficial. Al originar pérdidas de suelo es un concepto de connotaciones negativas, pero en el ámbito fluvial aporta a los cauces sedimentos y nutrientes, interviniendo decisivamente en el equilibrio hidrogeomorfológico. En el cauce de un río la erosión puede ser lineal (incisión en el fondo del lecho), lateral (en las orillas) y regresiva (mordiéndolo de abajo hacia arriba por fractura local del nivel de base).

Estiaje. Periodo de aguas bajas en los ríos. En el clima mediterráneo suele coincidir con el periodo de verano, en el que las lluvias son menores y las pérdidas por evaporación mayores, pero en ríos de montaña o alimentados en zonas de montaña también puede aparecer un periodo de estiaje en invierno debido a que las precipitaciones son en forma de nieve, que queda retenida y no se convierte en caudal hasta la primavera.

Exposición. Básicamente es el número total de personas y bienes expuestos a un peligro, por lo que existe una exposición social y otra económica, e incluso otra ecológica, si se incluye el patrimonio natural como bien. La exposición en un mismo emplazamiento suele variar a lo largo del día o estacionalmente. En los llanos de inundación generalmente la exposición se ha ido incrementando de forma progresiva.

Extremo. Los procesos naturales de alta intensidad y baja frecuencia, es decir, de rango extraordinario, que pueden suponer un peligro para el hombre, se consideran procesos o eventos extremos. Hay algunas situaciones no extremas que pueden suponer riesgo, pero las situaciones extremas casi siempre suponen riesgo. Para definir qué es extremo y qué no lo es hay que evaluar los dos caracteres, frecuencia e intensidad, y observar si superan un determinado umbral. Algunos modelos para comprender los extremos son la teoría del caos, la teoría de las catástrofes y la geometría fractal, capaces de explicar los procesos a partir de ritmos geométricos y sistemas de ecuaciones.

Flash flood. Crecida relámpago, de gran velocidad de circulación por la elevada pendiente del cauce y las condiciones de la cuenca (por ejemplo, elevada impermeabilidad y escasa cubierta vegetal), lo que las hace especialmente peligrosas. Son frecuentes en áreas de montaña y zonas áridas y semiáridas.

Flood pulse. Concepto ecológico definido por Junk et al. (1989) que explica cómo las pulsaciones, ritmos o fluctuaciones de caudal regulan los intercambios ecológicos entre las distintas unidades acuáticas y terrestres del hidrosistema fluvial. Es la base de la conectividad ecológica lateral o transversal, completando o complementando las relaciones longitudinales o de continuidad. Así, las crecidas incrementan la dinámica de todas las interacciones, ya que conectan el cauce principal con los brazos muertos y con el corredor ribereño, recuperándose esas conexiones cortadas en aguas bajas. La crecida permite que una gran parte de la biomasa producida en el llano de inundación se derive hacia el cauce menor, donde se aumenta la biomasa circulante, integrándose en el continuo fluvial, constituyendo un recurso trófico adicional para la fauna de las aguas corrientes. Simultáneamente, las aguas desbordadas pueden reconstituir el stock de nutrientes de la llanura inundable, favoreciendo la productividad en ese espacio. Para la supervivencia de muchos seres vivos es fundamental, por tanto, que siga habiendo crecidas y que estas acontezcan con suficiente frecuencia. Este funcionamiento por pulsaciones de los ecosistemas fluviales y ribereños debe ser tenido en cuenta en la gestión hídrica de ríos regulados, encontrándose en la base de los caudales o regímenes ecológicos, que deben incluir “crecidas ecológicas”. Posteriormente Tockner et al. (2000)

añadieron observaciones a este concepto considerando que no solo en crecida sino también en aguas altas sin alcanzar el nivel bankfull tienen lugar importantísimas interacciones ecológicas laterales en corredores ribereños y llanos de inundación, fundamentales para crear y mantener la heterogeneidad de ambientes. Al no restringir a las crecidas estos procesos propusieron el concepto de flow pulse en lugar de flood pulse.

Flujo de base. Flujo de agua que conforma la base hidrológica de caudal casi permanente de un curso fluvial, ya que procede de manantiales y aguas subterráneas. A diferencia del flujo directo es bastante estable, asistiendo a cambios estacionales.

Flujo directo. Flujo de agua que entra rápidamente en los cauces por escorrentía directa superficial y subsuperficial, a raíz de una precipitación o proceso de fusión. Incrementa el flujo de base y determina en buena medida los caudales de crecida.

Hidrograma. Es tanto un gráfico de representación de caudales como un método de trabajo y un modelo hidrológico. Como gráfico representa la evolución del caudal circulante por un curso fluvial (eje vertical) a lo largo de un periodo de tiempo (eje horizontal), y es obtenido a partir del registro continuo de niveles (limnigrama) y su posterior transformación en caudales empleando la curva de gastos. Puede incluir también un hietograma que refleja la estructura espacio-temporal de las precipitaciones y muestra el desfase temporal entre entradas y salidas de agua. La forma del hidrograma permite la separación del flujo de base y del flujo directo. La curva de caudal representada en el hidrograma se descompone en cuatro partes: segmento de acercamiento, curva de ascenso o de concentración, que suele ser muy brusca, curva de descenso, de recesión o de decrecida, más suave o paulatina, y curva de agotamiento, que marca el final de la escorrentía superficial. También se han definido distintos tiempos característicos dentro del hidrograma (tiempo base, de crecida, de recesión, de demora, de respuesta o lag, etc.). Como método de trabajo sintetiza todo el sistema fluvial en un periodo concreto y analiza el mecanismo de progresión de una crecida, siendo de suma utilidad para la ordenación, la predicción o la construcción de infraestructuras. Hay hidrogramas reales, que representan el comportamiento de un sistema fluvial a lo largo de un determinado proceso de crecida, y hay hidrogramas que son modelos hidrológicos diseñados para caracterizar el funcionamiento de una cuenca durante una "crecida de diseño". En este sentido, el hidrograma es el más completo y complejo modelo de simulación hidrológica del proceso lluvia-escorrentía, de manera que cada sistema fluvial tiene su hidrograma tipo, un tipo de evolución que suele cumplir.

Hiporreico. Medio intersticial subsuperficial, conformado a modo de estrato o nivel horizontal bajo el lecho del cauce menor del río, por el que circula la escorrentía subsuperficial. Se puede hablar de sistema, ambiente, hábitat, zona o flujo hiporreico. Con un espesor de algunos decímetros, constituye la transición entre las aguas superficiales y el acuífero aluvial, así como un medio de gran riqueza biológica en el que suelen abundar macroinvertebrados bentónicos. Al ser un medio más estable que el superficial es lugar de desarrollo de huevos y etapas larvarias para muchas especies, así como refugio en momentos de crecida. El agua circula a mucha menor velocidad que en superficie a través de los intersticios de la carga de fondo. Este medio hiporreico es un elemento fundamental en ríos de gravas y en cauces aluviales que presentan amplios periodos sin caudal superficial.

Incisión. Proceso, a veces rápido, de encajamiento del cauce, producido por una combinación de acciones geomorfológicas de erosión lineal y remontante en el fondo del lecho fluvial.

Inestabilidad. Podemos decir que "la naturaleza es inestable por naturaleza", por mucho que nos empeñemos en explicarla de forma racional, fijándonos en sus regularidades. Ante todo, domina lo inestable, lo irregular y lo imprevisible. No obstante, incluso la inestabilidad se puede explicar de forma cíclica y sistémica, como una secuencia de rupturas de equilibrio enlazadas por procesos de recuperación del equilibrio perdido. Así funcionan todos los sistemas naturales de la Tierra. Son sistemas dinámicos e inestables, con continuos procesos constructivos y destructivos. El equilibrio es fundamental para la conservación del sistema, pero es dinámico debido a que se logra mediante continuos cambios, avances y retrocesos, en cada uno de los elementos del sistema. Como fuente de inestabilidades hay que otorgar máxima y creciente importancia a la acción del hombre, que genera cambios ambientales o incrementa los naturales.

Inundación. Whittow (1988) la define como "sumersión bajo el agua de una zona terrestre que normalmente no está cubierta por la misma, debido a un cambio relativamente rápido del nivel de la masa de agua en cuestión". Aunque en inglés se emplea el término "flood" tanto para crecida como para inundación, conviene diferenciarlos con claridad. No todas las crecidas producen inundaciones y no todas las inundaciones proceden de crecidas de sistemas fluviales. Mientras las crecidas siempre tienen lugar en sistemas fluviales, aunque su mecanismo y sus efectos no afectan sólo a los cauces, las inundaciones pueden producirse por desbordamiento de un cauce, pero también por elevación del nivel del mar o del nivel freático, dificultades de drenaje,

represamientos... En las crecidas fluviales las inundaciones reducen la punta de caudal, ya que expanden el flujo y ralentizan el paso del agua, retardan la descarga y laminan de forma natural de la crecida.

Irregularidad. Nada es regular en la naturaleza; todos los procesos naturales se manifiestan de forma irregular en el espacio y en el tiempo: precipitaciones, temperaturas, caudales, procesos geológicos... Tanto la inestabilidad como la irregularidad son negativas para la actividad socio-económica puesto que generan daños e incertidumbres que reducen los beneficios, limitan los espacios y generan múltiples problemas. Precisamente por eso existen los riesgos, situaciones que por su inestabilidad, irregularidad y carácter extremo se alejan de la situación de estabilidad y regularidad que conviene al hombre y a su actividad.

Laminación. Proceso natural de reducción y ralentización de los caudales de crecida y de descenso de la energía por efecto expansión y dispersión con el desbordamiento. El agua se distribuye anárquicamente sobre la llanura de inundación en función de la topografía local, siendo muy frecuentes los flujos de retorno hacia aguas arriba sobre cauces abandonados y el entrelazamiento de canales.

Llanura de inundación. Forma de relieve coincidente con el cauce mayor de un sistema fluvial, construida por la corriente en su régimen de crecidas con desbordamiento. Es de topografía básicamente llana. Los grandes depósitos sedimentarios del llano de inundación presentan crecimiento vertical, consecuencia de la decantación sedimentaria desde los flujos desbordados, y acreción horizontal resultante de las migraciones e inestabilidad del lecho.

Llanura aluvial. Terreno que ocupa el fondo de los valles y que está conformado por aluviones, materiales movilizados y sedimentados por el sistema fluvial. Es por tanto una forma de acumulación, a diferencia del valle en que se inserta, que es una forma de encajamiento. La llanura aluvial contiene el sistema de terrazas además de la llanura de inundación actual. Puede enlazar sin solución de continuidad con llanuras litorales, marismas o llanuras deltaicas.

Madera muerta. Biomasa leñosa muerta o arrancada (troncos, ramas, árboles enteros arrastrados por las crecidas, etc.), es un componente básico en la estructura y funcionamiento de cualquier ecosistema forestal, incluidos los fluviales. Provee de hábitat, refugio, alimento y lugares de cría a muchas especies de animales, plantas y hongos; forma parte activa del ciclo de nutrientes y agua; y representa un verdadero indicador de biodiversidad y reserva de carbono.

Paisaje fluvial. Es un espacio determinado por la presencia de un sistema fluvial. Sus caracteres más relevantes son la linealidad, la continuidad, la diversidad y su intensa dinámica. Aunque la latitud y el clima también son factores de estos paisajes, su elemento clave e imprescindible, el que les dota de personalidad propia, es el sistema fluvial, así que se trata de paisajes definidos principalmente por la hidrología y la geomorfología, de ahí que se clasifiquen dentro de los paisajes azonales. Los paisajes fluviales tienen generalmente su origen en el Cuaternario y engloban elementos actuales con otros pretéritos (terrazas, paleocauces) que quedan integrados en su interior. Su fuerte dinámica ha implicado continuos cambios evolutivos en todos sus elementos y a diferentes escalas espaciales. De hecho, nos encontramos ante uno de los paisajes más dinámicos de la superficie terrestre, dinámica apreciable a escala humana.

Peligro. Proceso o suceso del medio natural que puede suponer una amenaza para el hombre o su actividad. Los peligros hacen correr riesgo al hombre, le amenazan, tanto por su propia peligrosidad como por los caracteres antrópicos frente al fenómeno. La peligrosidad es, pues, la suma de los peligros potenciales que supone un determinado elemento, proceso o evento natural. Su valoración es muy importante para determinar el grado de riesgo. Generalmente se estima en forma de probabilidad de ocurrencia. Para el cálculo hay que estudiar tres aspectos: la distribución geográfica o radio de acción (extensión del peligro o magnitud), la periodicidad o frecuencia (periodo de retorno) y la severidad o intensidad.

Percepción del riesgo. Es un proceso psicológico de estímulo-respuesta subjetivo, tanto individual como colectivo, en el que se enfrentan dialécticamente sensaciones de miedo y de seguridad o confianza en relación con los procesos o peligros naturales. La percepción humana del riesgo está condicionada tanto por la cultura y nivel tecnológico de cada persona y de la sociedad como sobre todo por la lejanía en el tiempo y la magnitud del último acontecimiento catastrófico que han experimentado. Nada más suceder la catástrofe la población afectada muestra hipersensibilidad y la define como el mayor desastre que se recuerda, pero a medida que el suceso se aleja en el tiempo se va olvidando su gravedad, en una clara pérdida de memoria histórica. Además, la percepción humana del riesgo puede ser clara y fácilmente. La falsa sensación de seguridad es una típica percepción del riesgo en sociedades avanzadas, que creen que el aumento de las posibilidades económicas y la mejora en los conocimientos científicos y técnicos otorgan salvaguarda plena ante los peligros naturales. De ahí que los daños se estimen provocados por una naturaleza problemática, sin caer en la cuenta de que justamente la

búsqueda del progreso colectivo es la que suele romper las reglas de aquella.

Perfil longitudinal. Pendiente que describe el cauce en su recorrido descendente desde su nacimiento hacia su nivel de base, generalmente en forma de curva de concavidad hacia arriba. Es un perfil móvil, siempre provisional, como los factores que lo controlan. Lo podemos entender también como un mecanismo automático que regula el transporte y da unidad y continuidad a todo el sistema. Su proceso de regularización es una tendencia continua consistente en la reducción de las pendientes fuertes por erosión lineal y regresiva y en los procesos de sedimentación sobre las débiles. Esa tendencia a lograr un perfil de equilibrio o curva regularizada que aseguraría la mejor eficiencia de transporte, se ve interrumpida continuamente por la irregularidad del caudal y los aportes laterales, así como por barreras antrópicas (presas).

Periodo de retorno. Es el tiempo teórico que puede tardar en volver a producirse un suceso de determinado nivel al menos una vez con un 99% de probabilidad. Para el cálculo se ordenan todos los años en función del caudal máximo anual obtenido de los datos de aforo y se observa el número de años en que se iguala o supera el caudal analizado. Se trata, por tanto, de una extrapolación estadística desde el análisis de la serie temporal de sucesos pasados. Su uso es necesario y valioso, pero debe emplearse con precauciones y no llevar a una falsa sensación de seguridad, porque no puede considerarse que refleja con exactitud la realidad a ocurrir.

Point-bar. Barra de meandro, acumulación de material aluvial en las orillas convexas de los meandros. Están constituidas por dos tipos de pequeños relieves. los scrolls, flechas de gravas de unos metros de elevación, y los swales, pequeños canalillos más deprimidos situados entre los scrolls. Un lóbulo de meandro puede contar con varios point-bars adosados o superpuestos sucesivos.

Progradación de conos. Proceso de desarrollo o avance en volumen y planta de un cono aluvial como consecuencia de su inundación, a veces en manto (sheet-flood), por una crecida o por un flujo hiperconcentrado, con abundante material sedimentario.

Red de drenaje. Sistema jerarquizado de cauces, desde pequeños surcos hasta ríos, que confluyen unos en otros hasta configurar un colector principal de toda una cuenca. Su función es el transporte de materia y energía en el interior de la cuenca. La morfología de la red, la densidad de drenaje y los órdenes jerárquicos alcanzados son parámetros fundamentales de estudio que dependen de los caracteres geomorfológicos y bióticos del sistema.

Resiliencia. Capacidad o habilidad de un sistema sometido a una alteración de mantener sus funciones. Tiene tres propiedades básicas: la cantidad de cambio que el sistema puede soportar, el grado con que es capaz de auto-organizarse y el grado con que puede construir su capacidad de adaptarse. La resiliencia es un término que proviene de la Física y se refiere a la capacidad de un material de recobrar su forma original después de haber estado sometido a altas presiones. En Ecología se define como la cantidad de cambio que un sistema puede soportar y aún mantener el mismo estado o dominio de atracción, ser capaz de auto-organizarse y poder adaptarse a las condiciones cambiantes. En análisis de riesgos es la capacidad de un ecosistema o de una comunidad de absorber un impacto negativo o de recuperarse una vez haya sido afectada por un fenómeno (Hewitt, 1996). En sistemas fluviales y corredores ribereños este concepto hace referencia a su gran capacidad de regeneración, de manera que no son necesarias grandes inversiones en restauración, sino que basta muchas veces con detener las alteraciones, y el sistema trabajará a partir de ahí. Las estrategias de resiliencia, como las que se han propuesto en el Rhin holandés, son medidas de minimización del riesgo y mejora ambiental en los llanos de inundación que, a diferencia de las medidas de resistencia (defensas), tratan de lograr que el propio sistema fluvial se autorregule laminando las crecidas por desbordamiento y recuperándose el solo de los impactos pasados.

Riberas. Son los dos terrenos adyacentes al cauce, uno en cada orilla, y conforman junto con el cauce el corredor ribereño. Constituyen un humedal con un mosaico de terrenos definidos por el tipo de sedimento, su altitud relativa respecto del cauce y su edad o estado sucesional. Se pueden definir también como ecotonos o ricos ecosistemas transitorios entre el ecosistema acuático de la corriente fluvial y el ecosistema terrestre del sector más externo del fondo del valle. El terreno de ribera está directamente influenciado por el flujo subterráneo controlado por la corriente superficial, nivel freático elevado responsable del desarrollo de masas de vegetación de ribera. Otra característica del terreno ribereño es su topografía muy llana pero irregular, labrada por las aguas de desbordamiento.

Riesgo natural. Ortega (1991) lo define como la eventualidad de que ocurra un daño para las personas o sus bienes en un espacio amenazado por un proceso natural que puede desencadenarse en el futuro. Panizza (1988) siguiendo a Rowe (1977) define el riesgo como el producto de la peligrosidad natural por la vulnerabilidad territorial, es decir, como la probabilidad de que las consecuencias socioeconómicas de cierto fenómeno de inestabilidad natural o inducida superen un determinado umbral. Ayala y Olcina

(2002) definen el riesgo natural como la posibilidad de que un territorio y la sociedad que lo habita pueda verse afectado por un fenómeno natural de rango extraordinario. Siempre conlleva un componente de aleatoriedad, de probabilidad. Generalmente la situación de riesgo supone una infracción que el hombre comete sobre el territorio por la implantación inadecuada de actividades o asentamientos. No hay riesgo sin presencia humana, sin ésta un proceso natural no puede dar lugar a riesgo por violento que sea.

Sedimentación. Conjunto de procesos geomorfológicos de detención y acumulación de los materiales transportados por el sistema fluvial. La sedimentación se produce dentro del propio curso fluvial, en sectores o ambientes donde la energía del flujo es inferior al umbral de competencia, imposibilitando que los materiales puedan seguir siendo movilizados. Es decir, tiene lugar cuando el flujo pierde capacidad de transporte al disminuir la profundidad, la velocidad o la turbulencia. Entre los factores que condicionan la sedimentación hay que destacar la disminución de caudal (tras una crecida, por ejemplo), la disminución brusca o gradual de la pendiente, el aumento de la anchura del cauce, el incremento de la rugosidad (vegetación, acorazamiento, etc.), la separación del flujo, las obstrucciones (grandes bloques, afloramientos de rocas, madera muerta, pilares de puentes, azudes, etc.), o bien el aumento de los aportes de sedimento. En el caso de los sólidos disueltos las condiciones citadas no son relevantes, siendo necesario un agente químico que precipite los solutos o bien que la evaporación eleve las concentraciones por encima del nivel de saturación. En cuanto a las partículas cohesivas de sedimento fino, permanecen en suspensión con velocidades de flujo mucho menores que las requeridas para ponerlos en movimiento. La deposición del material grueso no está sujeta a los elevados umbrales del transporte. Los sedimentos suelen quedar clasificados por tamaños y en su fracción gruesa suelen encontrarse imbricados, es decir, acostados unos sobre otros con el eje principal paralelo a la dirección de la corriente. Un factor clave en la clasificación sedimentaria es el tiempo del proceso de decrecida: si el descenso de las aguas es gradual la sedimentación es ordenada, pero si la deposición es brusca los materiales aparecerán con aspecto caótico, como al azar. La sedimentación da lugar a variadas formas de relieve fluviales: conos, barras, terrazas, llanuras de inundación, deltas, etc.

Seguridad. Es la capacidad de absorción y tolerancia al riesgo. En las sociedades modernas la seguridad se ha convertido en un valor y un derecho del ciudadano. A su vez, las sociedades modernas, especialmente las urbanas, pecan de excesiva confianza en las obras públicas y el progreso técnico, en su capacidad de control de la naturaleza, es decir, creen tener más seguridad de la que realmente tienen, lo que se

denomina “falsa sensación de seguridad”. La consecuencia de esta falsa seguridad es que los asentamientos se instalan en lugares cada vez más arriesgados, y en consecuencia las inversiones públicas y las pérdidas son crecientes. Este círculo vicioso se rompe cuando los fenómenos naturales desbordan las previsiones.

Sinergia. Asociación o coincidencia de varios riesgos en el espacio y en el tiempo, que da lugar a consecuencias mayores que la adición de las consecuencias individuales.

Sistema fluvial. Integrado en los ciclos del agua, de la materia sólida y biogeoquímicos, es un complejo mecanismo hidrológico, geomorfológico y ecológico de movilización o conducción superficial de las aguas continentales, acompañadas de los materiales que transportan, sedimentos y nutrientes, en la dirección de la pendiente hasta que son vertidas en los océanos. Cuenta con una enorme capacidad de transporte de masa y energía. Existe, por tanto, un sistema fluvial general, como mecanismo global, pero cada cárcava, cada arroyo, cada barranco, cada rambla, cada río, cada uno de sus tramos, toda una red de drenaje, toda una cuenca hidrográfica con sus vertientes y sus cauces, todo ello son sistemas fluviales.

Talweg. Línea que sigue los puntos topográficamente más bajos de un valle fluvial, es decir, la incisión más profunda del lecho del cauce a lo largo del curso fluvial.

Terraza. Forma de relieve horizontal o próxima a la horizontalidad originada por la actividad de erosión y sedimentación de un río a lo largo del cuaternario. Una terraza es un antiguo lecho fluvial en el que el río ha dejado acumulación de sedimentos y ha quedado en relieve por la erosión posterior del propio río. Normalmente los ríos cuentan con un sistema de varias terrazas escalonadas. Las más elevadas corresponden con lechos antiguos sobre los que el río ha erosionado y posteriormente vuelto a depositar sedimentos, creando así una sucesión de varias terrazas paralelas al río y escalonadas en las que la próxima al cauce es la más moderna.

Territorio fluvial. Terreno, espacio o paisaje dominado por un sistema fluvial. Espacio del río, geomorfológica y ecológicamente activo, que incluye el cauce, el corredor ribereño y, total o parcialmente, la llanura de inundación. Debería ser ancho, continuo, inundable, erosionable, no defendido y no urbanizable.

Transporte. Proceso geomorfológico de movilización del caudal sólido a lo largo del sistema fluvial. El sedimento puede ser transportado en suspensión (sostenido por la turbulencia del flujo) o bien por el fondo (rodando, saltando

o deslizándose). Cuanto más intensa es la acción de la corriente (mayor caudal), mayor es el tamaño del material que puede ser transportado. Nutrientes y contaminantes pueden ser movilizados en una tercera modalidad de transporte: la disolución.

Valle. Terreno complejo, de morfología muy diversa pero en general alargado en forma de corredor lineal y confinado entre elevaciones. El concepto es muy ambiguo, por cuanto un valle en sentido amplio es una cuenca y en sentido estricto un cauce. Puede ser simplemente fluvial o bien compuesto con relieves deprimidos (cubetas endorreicas) o elevados (colinas, cerros) en su interior. El valle cuenta con laderas, modeladas por procesos de vertiente, y fondo, ligado a la dinámica fluvial actual. El valle contiene también paleoformas: terrazas, conos aluviales colgados, glaciares, etc. Existen muchos tipos de valles: abiertos, cerrados, fluvio-kársticos, ciegos, glaciares, tectónicos, en artesa o en V, inundados por el mar, etc.

Bibliografía

Se listan a continuación las referencias a documentos de consulta recomendada, así como todos los empleados por el autor para la preparación de la guía. Los pocos que se han remarcado en azul se consideran de máximo interés para ampliar y complementar lo expuesto en la guía.

- Acín, V. (2007) *Evaluación del riesgo de inundación en Fraga por crecidas del Cinca. Propuesta de soluciones*. Premio Félix de Azara, Diputación Provincial de Huesca.
- Acín, V., Ballarín, D., Brufao, P., Domenech, S., Espejo, F., González-Hidalgo, J.C., Granado, D., Ibisate, A., Marcén, C., Mora, D., Nadal, E., Ollero, A., Sánchez Fabre, M., Saz, M.A. y Serrano, R. (2012) Sobre las precipitaciones de octubre de 2012 en el Pirineo aragonés, su respuesta hidrológica y la gestión de riesgos. *Geographica*, 61: 101-128.
- Adam, P., Malavoi, J.R. et Debais, N. (2007) *Manuel de restauration hydromorphologique des cours d'eau*. Agence de l'Eau Seine-Normandie, 293 p., Paris.
- Aguirre, G. (2005) La valoración de los riesgos en la ordenación del territorio: metodología práctica. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 40: 393-405.
- American Rivers (2011). The multiple benefits of floodplain easements. (E-text type). <http://www.americanrivers.org/assets/pdfs/reports-and-publications/the-multiple-benefits-of-floodplain-easements.pdf>
- Amoros, C. et Petts, G.E. (Coords., 1993) *Hydrosystèmes fluviaux*. Masson, 300 p., Paris.
- Apel, H., Thieken, A.H., Merz, B. and Blöschl, G. (2004) Flood risk assessment and associated uncertainty. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 4: 295-308.
- Apel, H., Aronica, G.T., Kreibich, H. and Thieken, A.H. (2009) Flood risk analyses - how detailed do we need to be? *Natural Hazards*, 49: 79-98.
- Arduino, G., Reggiani, P. and Todini, E. (2005) Recent advances in flood forecasting and flood risk assessment. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 9(4):280-284.
- Arnaud-Fassetta, G., Astrade, L., Bardou, E., Corbonnois, J., Delahaye, D., Fort, M., Gautier, E., Jacob, N., Peiry, J.L., Piégay, H. et Penven, M.J. (2009) Fluvial geomorphology and flood-risk management. *Géomorphologie: relief, processus, environnement*, 2/2009: 109-128.
- Avis, C. and Royo, E. (2002) *Managing floods in Europe: the answers already exist. More intelligent river basin management using wetlands can alleviate future flooding events*. WWF Danube Carpathian Programme, WWF Living Waters Programme, 17 p., Brussels.
- Ayala, F.J. (1998) Selección racional de estrategias estructurales y no estructurales y de actuaciones públicas y privadas en la mitigación del riesgo de inundaciones en España. Un análisis comparativo. *Seminario El Clima y sus efectos: conocimiento e incertidumbres*. Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, ITGE, INM.
- Ayala, F.J. (2002) La inundación torrencial catastrófica del camping "Las Nieves" del 7 de agosto de 1996 en el cono de deyección del Arás (Biescas, Pirineo Aragonés). En Ayala, F.J. y Olcina, J. (Coords) *Riesgos naturales*, 889-912, Ariel, Barcelona.
- Ayala, F.J. (2002) Estrategias y medidas de mitigación del riesgo de inundaciones. Gestión de zonas inundables. En Ayala, F.J. y Olcina, J. (Coords) *Riesgos naturales*, 977-995, Ariel, Barcelona.
- Ayala, F.J. y Olcina, J. (Coords., 2002) *Riesgos naturales*. Ariel, 1.512 p., Barcelona.
- Ayala, F.J., Olcina, J., Laín, L. y González, A. (Eds., 2006) *Riesgos naturales y desarrollo sostenible: impacto, predicción y mitigación*. IGME, 280 p., Madrid.
- Baker, C. and van Eijk, P. (Eds., 2007) *Sustainable flood management: obstacles, challenges and solutions*, Interreg IIIC Network FLAPP "Flood Awareness and Prevention Policy in border areas", 96 p., Maastricht.
- Ballais, J.L., Chave, S., Delorme-Laurent, V. et Esposito, C. (2007) Hydrogéomorphologie et inondabilité. *Géographie Physique et Quaternaire*, 61(1): 75-84.
- Ballais, J.L., Chave, S., Dupont, N., Masson, E. et Penven, M.J. (2011) *La méthode hydrogéomorphologique de détermination des zones inondables*. Physio-Géo (www.physio-geo.fr), collection "Ouvrages", 168 p.
- Ballarín, D. y Rodríguez, I. (2013) *Hidromorfología fluvial: algunos apuntes aplicados a la restauración de ríos en la cuenca del Duero*. Confederación Hidrográfica del Duero, 128 p.
- Ballester, A. y Torrecilla, N.J. (Coords., en prensa) *Mitos del agua*. WWF Adena.
- Bazin, P., Gautier, E. (1996) Un espace de liberté pour la Loire et l'Allier: de la détermination géomorphologique à la gestion. *Revue de Géographie de Lyon*, 71(4) : 377-386.
- Beguiría, S. (2002): Revisión de métodos paramétricos para la estimación de la probabilidad de ocurrencia de eventos extremos en Climatología e Hidrología: el uso de series de

- excedencias y su comparación con las series de máximos anuales. En Cuadrat, J.M., Vicente, S.M. y Saz, M.A. (Eds.): *La información climática como herramienta de gestión ambiental*. VII Reunión Nacional de Climatología, 83–92, Universidad de Zaragoza.
- Begum, S., Stive, M.J.F. and Hall, J.W. (Eds., 2007) *Flood risk management in Europe. Innovation in policy and practice*. Springer, 534 p., Dordrecht.
- Benito, G., Díez Herrero, A. and Fernández de Villalta, M. (2003) Magnitude and frequency of flooding in the Tagus basin (Central Spain) over the last millenium. *Climatic Change*, 58: 171–192.
- Benito, G., Casas, M.A., Machado, M.J., Rico, M.T., Sánchez-Moya, Y., Sopena, A. and Thorndycraft, V.R. (2009) Riesgos naturales, crecidas fluviales y cambio climático. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 17(2): 155–163.
- Benito, J.L. (2013) Las consecuencias de menospreciar a la Naturaleza. (<http://jolube.wordpress.com>)
- Biron, P.M., Buffin-Bélanger, T., Larocque, M., Choné, G., Cloutier, C.A., Ouellet, M.A., Demers, S., Olsen, T., Desjarlais, C. and Eyquem, J. (2014) Freedom space for rivers: a sustainable management approach to enhance river resilience. *Environmental Management*, 54(5): 1056–1073.
- Blackwell, M.S.A. and Maltby, E. (2006) *Ecoflood Guidelines. How to use floodplains for flood risk reduction*. European Community, Luxembourg.
- Boné, P. (2006) *Estudio hidrogeomorfológico de las crecidas fluviales en la Cuenca del Matarraña hasta la confluencia con el río Algars*. Proyecto fin de Carrera, Licenciatura de Geografía, Universidad de Zaragoza, 93 p. + anexos.
- Bowker, P. (2007) *Flood resistance and resilience solutions*. An R&D Scoping Study. R&D Technical Report, DEFRA, Environment Agency, Bristol.
- Brandt, S.A. (2000) Classification of geomorphological effects downstream of dams. *Catena*, 40: 375–401.
- Bravard, J.P. et Petit, F. (1997) *Les cours d'eau. Dynamique du système fluvial*. A. Colin, 222 p., Paris.
- Brázdil, R., Kundzewicz, Z.W. and Benito, G. (2006) Historical hydrology for studying flood risk in Europe. *Hydrological Sciences Journal*, 51(5): 739–764.
- Brierley, G.J. & Fryirs, K.A. (2005): *Geomorphology and river management. Applications of the River Styles Framework*. Blackwell, 398 p., Oxford.
- Brookes, A. (1996) Floodplain restoration and rehabilitation. In M. G. Anderson, D. E. Walling, and P. D. Bates (Eds.) *Floodplain Processes*, 553–576, Wiley, Chichester.
- Brufao, P., Del Moral, L., Ibisate, A., Prat, N. y Ollero, A. (2013) Sorprendentemente las zonas inundables... se inundan. Artículo de opinión en *El Mundo*, 31/07/2013.
- Büchele, B., Kreibich, H., Kron, A., Thieken, A., Ihringer, J., Oberle, P., Merz, B. and Nestmann, F. (2006) Flood-risk mapping: contributions towards an enhanced assessment of extreme events and associated risks. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 6: 485–503.
- Bussi, G., Ortiz, E., Francés, F., Pujol, L., Gabaldón, R., Guna, V., Bellver, V. y Sempere, J.A. (2011) Modelación hidráulica y análisis del riesgo de inundación según las líneas guía de la Directiva Marco del Agua. El caso de la Marina Alta y la Marina Baja (Alicante). *II Jornadas de Ingeniería del Agua Modelos Numéricos en Dinámica Fluvial*. Barcelona.
- Cals, M.J.R., and van Drimmelen, C. (2000) Space for the river in coherence with landscape planning in the Rhine-Meuse Delta. In H.J. Nijland, and M.J.R. Cals (Eds.) *River Restoration in Europe: practical approaches*. European Centre for River Restoration, Wageningen.
- Calvo, F. (2001) *Sociedades y territorios en riesgo*. Ediciones del Serbal, 186 p., Barcelona
- Camarasa, A.M. y Bescós, A. (2004) Cartografía de áreas inundables: comparación entre mapas de peligro y mapas de inundaciones concretas. *Riesgos Naturales y Antrópicos en Geomorfología*, 2: 25–36.
- Camarasa, A.M. y Segura, F. (2001) Las crecidas en ramblas valencianas mediterráneas. *Estudios Geográficos*, LXII, 245: 649–674.
- Camarasa, A.M. y Bescós, A. (2004) Cartografía de áreas inundables: comparación entre mapas de peligro y mapas de inundaciones concretas. En Benito, G. y Díez Herrero, A. (Eds.) *Riesgos naturales y antrópicos en Geomorfología*, Actas de la VIII Reunión Nacional de Geomorfología, 25–36. SEG y CSIC, Toledo-Madrid.
- Camarasa, A.M. y Soriano, J. (2008) Peligro, vulnerabilidad y riesgo de inundación en ramblas mediterráneas: los llanos de Carraixet y Poyo. *Cuadernos de Geografía*, 83: 1–26.
- Celma, M. y Muñoz, M.P. (2003) *El Matarraña, aula abierta, fichas didácticas*. OMEZYMA.
- CEPRI (2011) *Pourquoi prévenir le risque d'inondation? Le maire et la réduction des conséquences dommageables des inondations*. Centre Européen de Prévention du Risque d'Inondation.
- CEPRI (2011) *L'ACB (analyse coût/bénéfice): une aide à la décision au service de la gestion des inondations- Guide à l'usage des maîtres d'ouvrage et de leurs partenaires*. Centre Européen de Prévention du Risque d'Inondation.
- CEPRI (2013) *Sensibiliser les populations exposées au risque d'inondation. Comprendre les mécanismes du changement de la perception et du comportement*. Centre Européen de Prévention du Risque d'Inondation.
- Charlton, R. (2007) *Fundamentals of Fluvial Geomorphology*. Routledge, 234 p.
- Commissariat Général au Développement Durable (2012) *Analyse multicritères: application aux mesures de prévention des inondations. Guide méthodologique*. Paris.
- Conde, O. (Coord., 2010) *El Ebro desbordado. Una historia de las crecidas del río en Zaragoza*. Ayuntamiento de Zaragoza, 60 p.
- Conde, O., Acín, V., Ballarín, D., Domenech, S., Elso, J., Espejo, F., Gimeno, M., Granado, D., Gonzalo, L.E., Ibisate, A., Magdaleno, F., Mérida, M., Mora, D., Ollero, A., Sánchez Fabre, M. (2011): Perspectivas en la búsqueda de soluciones de mitigación al riesgo de inundación en la Ribera Alta aragonesa del Ebro. *I Congreso Ibérico de Restauración Fluvial*, 117–124, MARM, CHD y CIREF, León.
- Confederación Hidrográfica del Ebro (2008) *Plan hidrológico del río Matarraña*. Borrador. 179 p., Zaragoza.
- Costa, J.E. (1983): Palaeohydraulic reconstruction of flash-

- flood peaks from boulder deposits in the Colorado Front Range. *Geological Society of America Bulletin*, 94: 986–1004.
- De Bruijn, K.M. (2005) *Resilience and flood risk management: a systems approach applied to lowland rivers*. Delft Hydraulics, Delft.
- De Bruijn, K.M., Klijn, F., Öllfert, A., Penning-Rowsell, E., Simm, J. and Wallis, M. (2009) *Flood risk assessment and flood risk management*. FLOODsite Consortium, 151 p., Delft.
- DEFRA (2005) *Making space for water. Taking forward a new government strategy for flood and coastal erosion risk management in England*. Department for Environmental Food and Rural Affairs, 48 p., London.
- Dégardin, F. (2002) Urbanisation et inondations: de l'opposition à la réconciliation. *BAGF – Géographies*, 1: 91–103.
- Degoutte, G. (2006) *Diagnostic, aménagement et gestion des rivières. Hydraulique et morphologie fluviales appliquées*. Tec and Doc Lavoisier, 394 p., Paris.
- Del Valle, J. (2002) Las intensas lluvias y riadas del 23 al 25 de octubre de 2000 en el SE de la cuenca del Ebro. Seguimiento y gestión mediante el S.A.I.H. de la C.H.E. VII Reunión Nacional de Climatología, 93–98, Albarracín, A.G.E.
- Del Valle, J., Ollero, A. y Sánchez Fabre, M. (2007) *Atlas de los ríos de Aragón*. Prames, 479 p., Zaragoza.
- Demeritt, D. and Nobert, S. (2014) Models of best practice in flood risk communication and management. *Environmental Hazards*, 13(4): 313–328, DOI:10.1080/17477891.2014.924897.
- Department for Communities and Local Government (2009) *Planning Policy Statement 25: Development and flood risk practice guide*. DCLG, London.
- Díez Herrero, A., Sanz, M.A. y Pedraza, J. de (2004) Indicadores geomorfológicos cuantitativos de la degradación de las riberas fluviales aguas debajo de las presas de embalse. I Congreso Nacional de Restauración de Ríos y Humedales, 229–245.
- Díez Herrero, A., Laín, L. y Llorente, M. (2008) *Mapas de peligrosidad por avenidas e inundaciones. Guía metodológica para su elaboración*. Instituto Geológico y Minero de España, 190 p., Madrid.
- Díez Herrero, A., Llorente, M., Ballesteros, J.A. y Ruiz Villanueva, V. (2009) Riesgos por avenidas e inundaciones fluviales. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 17(3): 254–263.
- Dirección General de Protección Civil y Emergencias (2003) *Riesgo de inundaciones. Programa para centros escolares. Guía didáctica para profesores*. Ministerio del Interior, 95 p., Madrid.
- Dister, E., Gomer, D., Orbdlik, P., Petermann, P. and Schneider, E. (1990) Water management and ecological perspectives of the Upper Rhine's floodplains. *Regulated Rivers Research and Management*, 5(1): 1–15.
- Domenech, S., Ollero, A. y Sánchez Fabre, M. (2008) Núcleos de población en riesgo de inundación fluvial en Aragón: diagnóstico y evaluación para la ordenación del territorio. *Geographica*, 54: 17–44.
- Domenech, S., Espejo, F., Ollero, A. y Sánchez, M. (2011) Peligrosidad por inundaciones en una cuenca no aforada: el río Sosa en Monzón (Huesca) y el evento de agosto de 2006. *Geographica*, 59–60: 95–108.
- Downs, P.W. and Gregory, K.J. (2004) *River channel management. Towards sustainable catchment hydrosystems*. Arnold, 395 p., London.
- Dufty, N. (2008) A new approach to community flood education. *The Australian Journal of Emergency Management*, 23(2): 4–8.
- Dunne, T. and Leopold, L.B. (1978) *Water in environmental planning*. Freeman, 818 p., San Francisco.
- EIRD (2005) *Marco de Acción de Hyogo para 2005–2015: aumento de la resiliencia de las naciones y las comunidades ante los desastres*. Conferencia Mundial sobre la Reducción de los Desastres, Kobe, Hyogo (Japón). Estrategia Internacional para la Reducción de los Desastres, Ginebra.
- Elliott, S. (2010) *El río y la forma, introducción a la Geomorfología Fluvial*. RiL editores, 324 p., Santiago de Chile.
- Environment Agency (2009) *Flooding in England: a national assessment of flood risk*. UK Environment Agency, Bristol.
- Escuer, J.L. (2004) *El Cinca a Fraga: una reflexió sobre dinàmica fluvial i activiat humana*. Institut d'Estudis del Baix Cinca, 40 p., Fraga.
- Espejo, F. (2008) Hacia una tipología de inundaciones en la cuenca del Ebro en función de sus causas atmosféricas. *Geographica*, 53: 73–100.
- Espejo, F., Domenech, S., Ollero, A., Sánchez Fabre, M. (2008) La crecida del Ebro de 2007: procesos hidrometeorológicos y perspectivas de gestión del riesgo. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 48: 129–154.
- European Commission (2003) *Best practices on flood prevention, protection and mitigation*. European Flood Action programme.
- European Environment Agency (2010) *Mapping the impacts of natural hazards and technological accidents in Europe – An overview of the last decade*. EEA Technical report 13/2010. Copenhagen.
- Fleischhauer, M., Greiving, S. y Wanczura, S. (2007) Planificación territorial para la gestión de riesgos en Europa. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 45: 49–78.
- Francés, F., Blöschl, G. and Bronstert, A. (2008) Efficiency of non-structural flood mitigation measures: "room for the river" and "retaining water in the landscape". CRUE Research Report I-6, CRUE Funding Initiative on Flood Risk Management Research.
- Fryirs, K.A.; Brierley, G.J. (2012) *Geomorphic analysis of river systems: An approach to reading the landscape*. Wiley-Blackwell.
- García Gándara, C. (2013) *Evolución temporal de la frecuencia, magnitud y daños por inundaciones, e identificación de los factores determinantes*. Trabajo fin de Máster Universitario en Técnicas de Análisis, Evaluación y Gestión Sostenible de Procesos y Riesgos Naturales, Universidad de Cantabria.
- García Ruiz, J.M., White, S., Martí, C., Valero, B., Errea, M.P. y Gómez Villar, A. (1996) *La catástrofe del barranco de Arás (Biescas, Pirineo Aragonés) y su contexto espacio-temporal*. Instituto Pirenaico de Ecología, 54 p., Zaragoza.
- Gaume, E. and Borga, M. (2008) Post-flood field investigations in upland catchments after major flash

- floods: proposal of a methodology and illustrations. *Journal of Flood Risk Management*, 1: 175-189.
- Gil Olcina, A. y Morales, A. (Eds., 1989) *Avenidas fluviales e inundaciones en la cuenca del Mediterráneo*. Universidad de Alicante y Caja de Ahorros del Mediterráneo, 586 p.
- Gob, F., Houbrechts, G., Hiver, J.M., Petit, F. (2005) River dredging, channel dynamics and bedload transport in an incised meandering river (the River Semois, Belgium). *River Research and Applications*, 21: 791-804.
- Gobierno de Aragón (2005) *Plan Especial de Protección Civil ante Inundaciones en la Comunidad Autónoma de Aragón. Anejo II.3.9. Cuenca del Matarraña*.
- González, J.L. (Ed., 2009) *Mapas de riesgos naturales en la ordenación territorial y urbanística*. Ilustre Colegio Oficial de Geólogos, 101 p., Madrid.
- Graf, W.L. (1999) Dam nation: a geographic census of American dams and their large-scale hydrologic impacts. *Water Resources Research*, 35(4): 1305-1311.
- Graf, W.L. (2006) Downstream hydrologic and geomorphic effects of large dams on American rivers. *Geomorphology*, 79: 336-360.
- Grant, G.E., Schmidt, J.C. and Lewis, S.L. (2003) A geological framework for interpreting downstream effects of dams on rivers. In: O'Connor, J.E. and Grant, G.E. (eds.) *A peculiar river*, 209-225. American Geophysical Union.
- Gregory, K.J. and Walling, D.E. (1973) *Drainage basin. Form and process: a geomorphological approach*. Arnold, 485 p., London.
- Hansson, K., Danielson, M. and Ekenberg, L. (2008) A framework for evaluation of flood management strategies. *Journal of Environmental Management*, 86: 465-480.
- Hewitt, K. (1996) *Regions of risk: a geographical introduction to disasters*. Addison Wesley Longman, London.
- Hudson, P.F., Middelkoop, H. and Stouthamer, E. (2008) Flood management along the Lower Mississippi and Rhine Rivers (The Netherlands) and the continuum of geomorphic adjustment. *Geomorphology*, 101: 209-236.
- Ibáñez, A. (2004) *Las crecidas fluviales en el Zadorra: procesos, riesgos y propuestas de ordenación*. Tesis doctoral. Dpto. Geografía, Prehistoria y Arqueología, Universidad del País Vasco UPV-EHU.
- Ibáñez, A. (2005) Variación del riesgo de inundaciones en el río Zadorra (País Vasco) como consecuencia de su regulación. *Investigaciones Geográficas*, 36: 119-133.
- Igigabel, M., Chaouch, V. et El Fadili, M. (2014) *Coût des protections contre les inondations fluviales*. CEREMA, 128 p. + annexes, Bron.
- Jha, A.K., Bloch, R. and Lamond, J. (2012) *Ciudades e inundaciones. Guía para la gestión integrada del riesgo de inundaciones en ciudades en el siglo 21*. The World Bank and GFDRR.
- Junk, W.J., Bayley, P.B. and Sparks, R.E. (1989) The flood-pulse concept in river-floodplain systems. *Special Publication of the Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 106: 110-127.
- Karmakar, S., Simonovic, S.P., Peck, A. and Black, J. (2010) An information system for risk-vulnerability assessment to flood. *Journal of Geographic Information System*, 2(2): 129-146.
- Kirpich, Z.P. (1940) Time of concentration of small agricultural watersheds. *Civil Engineering*, 10(6): 362.
- Kiss, T., Oroszi, V.G., Sipos, G., Fiala, K. and Benyhe, B. (2011) Accelerated overbank accumulation after nineteenth century river regulation works: a case study on the Maros River, Hungary. *Geomorphology*, 135: 191-202.
- Knighton, A.D. (1984) *Fluvial forms and processes*. Arnold, 218 p., London.
- Kondolf, G.M. (1994) Geomorphic and environmental effects of instream gravel mining. *Landscape and Urban Planning*, 28: 225-243.
- Kondolf, G.M. and Piégay, H. (Eds., 2003) *Tools in Fluvial Geomorphology*. Wiley, 688 p., Chichester.
- Kondolf, G.M. and Batalla, R.J. (2005) Hydrological effects of dams and water diversions on rivers of Mediterranean-climate regions: examples from California. In Garcia, C. and Batalla, R.J. (Eds.) *Catchment dynamics and river processes: mediterranean and other climate regions*, 197-211, Elsevier, London.
- Kovacs, P. and Sandink, D. (2013) *Best practices for reducing the risk of future damage to homes from riverine and urban flooding. A report on recovery and rebuilding in southern Alberta*. Institute for Catastrophic Loss Reduction research paper series 53, Toronto.
- Lane, E.W. (1955) The importance of fluvial morphology in hydraulic engineering. *American Society of Civil Engineers, Proceedings*, 81: 1-17.
- Lane, S.N., Brookes, C.J., Hardy, R.J., Holden, J., James, T.D., Kirkby, M.J., McDonald, A.T., Tayefi, V., and Yu, D. (2003) Land management, flooding and environmental risk: new approaches to a very old question. *Forthcoming in Proceedings of the CIWEM National Conference*.
- Lane, S.N., Odoni, N., Landström, C., Whatmore, S.J., Ward, N. and Bradley, S. (2011) Doing flood risk science differently: an experiment in radical scientific method. *Transactions of the Institute of British Geographers*, 36: 15-36.
- Langhammer, J. (2009) Applicability of hydromorphological monitoring data to locate flood risk reduction measures: Blanice River basin, Czech Republic. *Environmental Monitoring and Assessment*, 152: 379-392.
- Leopold, L.B., Wolman, M.G. and Miller, J.P. (1964) *Fluvial processes in Geomorphology*. Freeman, 522 p., San Francisco.
- Losada, J.A., Montesinos, S., Omedas, M., García Vera, M.A. y Galván, R. (2004) Cartografía de las inundaciones del río Ebro en febrero de 2003: trabajos de fotointerpretación, teledetección y análisis SIG en el GIS-Ebro. En Conesa, C., Álvarez, Y. y Martínez, J.B. (Eds.) *Medio ambiente, recursos y riesgos naturales: análisis mediante tecnología SIG y teledetección*, vol II: 207-218. Asociación de Geógrafos Españoles y Universidad de Murcia.
- Luna, J. de (2004) *Inundaciones en Beceite (Teruel) octubre del 2000*. <http://www.tiempo-severo.es/ver-reportaje.php?id=153>
- Malavoi, J.R., Bravard, J.P., Piégay, H., Hérouin, E., Ramez, P. (1998) *Détermination de l'espace de liberté des cours d'eau*. SDAGE Rhône-Méditerranée-Corse, Lyon.
- Malavoi, J.R., Gautier, J.N. and Bravard, J.P. (2002) Free

- space for rivers: a geodynamical concept for a sustainable management of the watercourses. In D. Bousmar, D., and Y. Zech (Eds.) *Proceedings of the International Conference on Fluvial Hydraulics River Flow 2002*, Swets and Zeitlinger, Lisse, Netherlands.
- Malavoi, J.R. et Bravard, J.P. (2010) *Éléments d'hydromorphologie fluviale*. ONEMA, 224 p., Paris.
- Magilligan, F.J., Buraas, E.M. and Rensahw, C.E. (2015) The efficacy of streampower and flow duration on geomorphic responses to catastrophic flooding. *Geomorphology*, 228: 175–188.
- Manning, R. (1891) On the flow of water in open channels and pipes. *Trans. Inst. Civil Eng. Ireland*, 20: 161–207. Supplement vol. 24: 179–207 (1895).
- Marchi, L., Borga, M., Preciso, E. and Gaume, E. (2010) Characterisation of selected extreme flash floods in Europe and implications for flood risk management. *Journal of Hydrology*, 394: 118–133.
- Marín Riaño, F. (Ed., 2002) *Informe de la Comisión Especial sobre la prevención y asistencia en situaciones de catástrofe. Ponencias y conclusiones de la Jornadas Parlamentarias sobre prevención de riesgos relacionados con el agua*. Secretaría General del Senado, 564 p., Madrid.
- Marquínez, J., Fernández, E., Arnal, J.M. y Moreno, M.L. (2014) Reactivación del cauce histórico del río Ésera por la avenida de junio de 2013 (Pirineo Central). En Schnabel, S. y Gómez, A. (eds.): *Avances de la Geomorfología en España 2012–2014. XIII Reunión Nacional de Geomorfología*, 115–118, Cáceres.
- Martín Vide, J.P. (2006) *Ingeniería de ríos*. Edicions UPC, 381 p. (2ª ed), Barcelona.
- Martín Vide, J.P., Ferrer, C. and Ollero, A. (2010) Incision due to gravel mining: modeling a case study from the Gállego River, Spain. *Geomorphology*, 117: 261–271.
- Martini, F. and Loat, R. (Eds.) *Handbook on good practices for flood mapping in Europe*. EXCIMAP, European Environment Agency, Copenhagen.
- Masson, M., Garry, G. et Ballais, J.L. (1996) *Cartographie des zones inondables. Approche hydrogéomorphologique*. Les Éditions Villes et Territoires, 100 p., Paris.
- Mateu, J.F. (1990) Avenidas y riesgos de inundación en los sistemas fluviales mediterráneos de la Península Ibérica. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 10: 45–86.
- Mayane (2010) *Elaboration et mise en place d'un projet d'éducation au risque d'inondation en milieu scolaire*. Mayane Association, 38 p., Montferrier-sur-Lez.
- McLuckie, D., Babister, M., Smith, G. and Thomson, R. (2014) Updating national guidance on best practice in flood risk management. 54th Floodplain Management Association Conference Papers.
- Merz, B., Hall, J., Disse, M. and Schumann, A. (2010) Fluvial flood risk management in a changing world. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 10: 509–527.
- Métayer, Y. y Hirsch, L. (2008) *Primeros pasos en la gestión de riesgos*. AENOR, 149 p., Madrid.
- Meyer, V., Scheuer, S. and Haase, D. (2009) A multicriteria approach for flood risk mapping exemplified at the Mulde river, Germany. *Natural Hazards*, 48: 17–39.
- Middlekoop, H. and Van Haselen, C.O.G. (Eds., 1999) *Twice a river: Rhine and Meuse in the Netherlands*. RIZA Institute for Inland Water Management and Waste Water Treatment, 127 p., Arnhem.
- Ministère de l'Écologie, du Développement et de l'Aménagement Durable (2004) *Les inondations. Dossier d'information*. 20 p., Paris.
- Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie (2007) *La télédétection: une vision détaillée des inondations, un gisement d'information précieux pour la gestion de l'aléa*. 38 p., Paris.
- Ministère de l'Écologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement (2011) *Programmes d'action de prévention des inondations (PAPI). De la stratégie aux programmes d'action. Cahier des charges*. 27 p., Paris.
- Moreno, J.M. (2005) *Evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático. Proyecto ECCE, informe final*. Ministerio de Medio Ambiente y Universidad de Castilla-La Mancha, 822 p.
- Olcina, J. (2004) Riesgo de inundaciones y ordenación del territorio en la escala local. El papel del planeamiento urbano municipal. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 37: 49–84.
- Olcina, J. (2006) *¿Riesgos Naturales? I. Sequías e inundaciones*. Ed. Da Vinci Continental, 220 p., Barcelona.
- Olcina, J. (2007) *Riesgo de inundaciones y ordenación del territorio en España*. Instituto Euromediterráneo del Agua, 381 p., Murcia.
- Olcina, J. (2008) *Prevención de riesgos: cambio climático, sequías e inundaciones*. Panel científico-técnico de seguimiento de la política del agua, FNCA, 240 p., Zaragoza.
- Olcina, J. (2010) El tratamiento de los riesgos naturales en la planificación territorial de escala regional. *Papeles de Geografía*, 51–52: 223–234.
- Olcina, J. (2012) Adaptación a los riesgos climáticos en España. Algunas experiencias. *Nimbus*, 29–30: 461–474.
- Ollero, A. (1997) Crecidas e inundaciones como riesgo hidrológico: un planteamiento didáctico. *Lurralde*, 20: 261–283.
- Ollero, A. (2006) Inundaciones y ordenación del territorio fluvial en la cuenca del Ebro. En Chastagnaret, G. y Gil Olcina, A. (Dirs.) *Riesgo de inundaciones en el Mediterráneo occidental*, 239–272, Casa de Velázquez y Universidad de Alicante.
- Ollero, A. (2007) *Territorio fluvial. Diagnóstico y propuesta para la gestión ambiental y de riesgos en el Ebro y los cursos bajos de sus afluentes*. Bakeaz y Fundación Nueva Cultura del Agua, 255 p., Bilbao.
- Ollero, A. (Coord., 2007) *Alteraciones geomorfológicas en cauces, la restauración de sistemas fluviales afectados por canalizaciones y dragados*. En González del Tánago, M. (Coord.). Mesas de trabajo de la Estrategia Nacional de Restauración de Ríos, Ministerio de Medio Ambiente.
- Ollero A. (2010) Channel changes and floodplain management in the meandering middle Ebro River, Spain. *Geomorphology*, 117: 247–260.

- Ollero, A. (2013) ¿Por qué no hay que limpiar los ríos? (<http://river-keeper.blogspot.com.es>)
- Ollero, A. (2013) Castiello de Jaca y la falsa seguridad. (<http://river-keeper.blogspot.com.es>)
- Ollero, A. and Elso, J. (2007) The need for a “fluvial territory” or “room for the river”: living with floods by acceptance of their functions. In Baker, C. and van Eijk, P. (Eds.) *Sustainable flood management: obstacles, challenges and solutions*, 59–63, Interreg IIIC Network FLAPP “Flood Awareness and Prevention Policy in border areas”, Maastricht.
- Ollero, A., Ibisate, A. y Elso, J. (2009) El territorio fluvial y sus dificultades de aplicación. *Geographica*, 56: 37–62.
- Ollero, A. and Ibisate, A. (2012) Space for the river: a flood management tool. In Wong, T.S.W. (Ed.) *Flood risk and flood management*, 199–218, Nova Pub., Hauppauge, NY.
- Ollero, A., Ibisate, A., Granado, D. and Real de Asua, R. (in press) Channel responses to global change and local impacts: perspectives and tools for floodplain management (Ebro River and tributaries, NE Spain). In Hudson, P.F. and Middelkoop, H. (eds.) *Geomorphology and management of embanked floodplains: North American and European fluvial systems in an era of global environmental change*, Springer.
- Ortega, F. (1991) Incertidumbre y riesgos naturales. XII Congreso Nacional de Geografía, AGE-Universidad de Valencia, 99–108.
- Ortega, J.A. (2010) Las crecidas y sus efectos geomorfológicos en los ríos en roca. En: Ortega, J.A. y Durán, J.J. (Eds.) *Patrimonio geológico: los ríos en roca de la Península Ibérica*, 101–137, Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.
- Ortega, J.A., Garzón, G., García, J.C. y Rodríguez, A. (2009) Funcionamiento de la rambla de Nogalte (Murcia) durante avenidas. Implicaciones para la cartografía de peligrosidad por riesgo de avenidas. In Romero, M.A., Belmonte, F., Alonso, F. y López Bermúdez, F. (Eds.) *Avances en estudios sobre desertificación: aportaciones al Congreso Internacional sobre Desertificación en memoria del profesor John B. Thornes*, 485–488, Universidad de Murcia.
- Ortega, J. A. and Garzón, G. (2009): Geomorphological and sedimentological analysis of flash-flood deposits, the case of the 1997 Rivillas flood (Spain). *Geomorphology*, 112: 1–14.
- Panizza, M. (1988) *Geomorfologia applicata. Metodi di applicazione alla pianificazione territoriale e alla valutazione d'impatto ambientale*. Nuova Italia Scientifica, 342 p., Roma.
- Pardé, M. (1961) *Sur la puissance des crues en diverses parties du monde*. Instituto Elcano del C.S.I.C., 293 p., Zaragoza.
- Pattison, I. and Lane, S.N. (2011) The link between land-use management and fluvial flood risk: A chaotic conception? *Progress in Physical Geography*, 36(1): 72–92
- Pérez Morales, A. (2011) Estado actual de la cartografía de los riesgos de inundación y su aplicación en la ordenación del territorio. El caso de la región de Murcia. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 58: 57–81.
- Piégay, H., Barge, O. and Landon, N. (1996) Streamway concept applied to river mobility/human use conflict management. *First International Conference on New/Emerging Concepts for Rivers. Proceedings Rivertech 96*, 681–688. International Water Resources Association.
- Piégay, H., Darby, S.E., Mosselman, E. and Surian, N. (2005) A review of techniques available for delimiting the erodible river corridor: a sustainable approach to managing bank erosion. *River Research and Applications*, 21: 773–789.
- Pielke, R.A. Jr. and Downton, M.W. (2000) Precipitation and damaging floods: trends in the United States, 1932–1997. *Journal of Climate*, 13(20): 3625–3637.
- Plate, E.J. (2002) Flood risk and flood management. *Journal of Hydrology*, 267: 2–11.
- Poesen, J.W.A. and Hooke, J.M. (1997) Erosion, flooding and channel management in Mediterranean environments of southern Europe. *Progress in Physical Geography*, 21(2): 157–199.
- Pottier, N., Penning-Rowsell, E., Tunstall, S. and Hubert, G. (2005) Land use and flood protection: contrasting approaches and outcomes in France and in England and Wales. *Applied Geography*, 25: 1–27.
- Ramsbottom, D. and Packman, J. (2004) Catchment flood management planning: catchment modeling for assessing flood risk and mitigation measures. *Hydrology: science and practice for the 21st century, Proceedings of the British Hydrological Society Conference*, 466–473, British Hydrological Society.
- Rinaldi, M. (2006) La prospettiva geomorfologica e le applicazioni nella gestione degli alvei fluviali. *Atti Giornate di Studio “Nouvi approcci per la comprensione dei processi fluviali e la gestione dei sedimenti. Applicazioni nel bacino del Magra”*, 39–58. Autorità di Bacino del Fiume Magra, Sarzana.
- Rinaldi, M., Wyżga, B. and Surian, N. (2005) Sediment mining in alluvial channels: physical effects and management perspective. *River Research and Applications*, 21: 1–24.
- Roberts, C.R. (1989) Flood frequency and urban-induced channel change: some british examples. In Beven, K.J. and Carling, P. (Eds.) *Floods: their hydrological, sedimentological, and geomorphological implications*, 57–82, Wiley, Chichester.
- Rohde, S., Hostmann, M., Peter, A. and Ewald, K. C. (2006) Room for rivers: an integrative search strategy for floodplain restoration. *Landscape and Urban Planning*, 78 (1–2): 50–70.
- Rowe, W.D. (1977) *An anatomy of risk*. Wiley, 488 p, New York.
- Salazar, S.A. (2013) *Metodología para el análisis y la reducción del riesgo de inundaciones: aplicación en la Rambla del Poyo (Valencia) usando medidas de “retención de agua en el territorio”*. Tesis doctoral, Dpto. de Ingeniería Hidráulica y medio Ambiente, Universidad Politécnica de Valencia, 362 p.
- Salazar, S.A., Francés, F., Komma, J., Blume, T., Francke, T., Bronstert, A. and Blöschl, G. (2012): A comparative analysis of the effectiveness of flood management measures based on the concept of “retaining water in the landscape” in different European hydro-climatic regions. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 12: 3287–3306.
- Samuels, P., Huntington, S., Allsop, W. and Harrop, J. (Eds., 2010) *Flood risk management research and practice. Proceedings of the European Conference on Flood Risk Management Research into Practice (Floodrisk 2008)*, CRC Press, Oxford.
- Sánchez Fabre, M., Ollero, A., Mora, D., Del Valle, J. y

- Ballarín, D. (2013) *Los ríos de la provincia de Teruel*. Cartillas Turolenses nº 28, Diputación de Teruel, 58 p.
- Sánchez Martínez, F.J. y Lastra, J. (coords, 2011) *Guía metodológica para el desarrollo del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables*. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 349 p., Madrid.
- Saurí, D., Ribas, A., Lara, A. y Pavón, D. (2010) La percepción del riesgo de inundación: experiencias de aprendizaje en la Costa Brava. *Papeles de Geografía*, 51-52: 269-278.
- Sayers, P., Yuanyuan, L., Galloway, G., Penning-Rowsell, E., Fuxin, S., Kang, W., Yiwei, C. and Le Quesne, T. (2013) *Flood risk management: a strategic approach*. UNESCO, 202 p., Paris.
- Schumm, S.A. (2005) *River variability and complexity*. Cambridge University Press, 234 p., London.
- Sear, D.A., Newson, M.D. and Thorne, C.R. (2003) *Guidebook of applied fluvial geomorphology*. R&D Technical Report, DEFRA & Environment Agency, 233 p., London.
- Segura, F. (2009) Geomorfología, inundaciones y alteración antrópica del espacio inundable: el caso del riu Girona (Alacant, octubre de 2007). *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 49: 83-103.
- SEPA (2011) *Prepare for flooding. A guide for residents and businesses*. Scottish Environment Protection Agency.
- Serrano-Muela, M.P., Nadal, E., Lana-Renault, N., González Hidalgo, J.C., López Moreno, J.I., Beguería, S., Sanjuán, Y. and García Ruiz, J.M. (2013) An exceptional rainfall event in the Central Western Pyrenees: spatial patterns in discharge and impact. *Land Degradation and Development*, DOI: 10.1002/ldr.2221.
- Serrano, R., Mora, D., Ollero, A., Sánchez Fabre, M. y Saz, M.A. (2014) Respuesta hidrológica al evento de precipitación de junio de 2013 en el Pirineo Central. *Investigaciones Geográficas*, 62: 5-21.
- Sparks, R.E. and Braden, J.B. (2007) Naturalization of developed floodplains: an integrated analysis. *Journal of Contemporary Water Research and Education*, 136: 7-16.
- Témez, J.R. (1987) *Cálculo hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales*. Dirección General de Carreteras, M.O.P.U., Madrid
- Témez, J.R. (1991) Extended and improved rational method. Version of the Highways Administration of Spain. XXIV Congreso Internacional de la IAHR. vol A: 33-40, Madrid.
- Thorne, C.R., Hey, R.D. and Newson, M.D. (Eds., 1997) *Applied fluvial geomorphology for river engineering and management*. Wiley, 376 p., Chichester.
- Tockner, K., Malard, F. and Ward, J.V. (2000) An extension of the Flood Pulse concept. *Hydrological Processes*, 14: 2861-2883.
- Ubertini, L. (2009) La mitigazione del rischio idraulico in Italia. *Quaderni della Società Geologica Italiana*, 4, 45 p.
- Ureña, J.M. y Ollero, A. (2000) Criterios y propuestas para la ordenación de áreas fluviales. *Ciudad y territorio, Estudios Territoriales*, XXXII(126): 689-710.
- Vicente, S.M., López Moreno, J.I. y Beguería, S. (2014) Hidrología ambiental: el papel de la gestión humana del territorio en el ciclo hidrológico continental y en los recursos hídricos. En Arnáez, J., González Sampériz, P., Lasanta, T. y Valero, B.L. (Eds.) *Geoecología, cambio ambiental y paisaje. Homenaje al Profesor José María García Ruiz*, 145-170, Instituto Pirenaico de Ecología y Universidad de La Rioja, Logroño.
- Villacis, C., León, E., Selleri, A.M., O'Donnell, I. (2009) *Simplified Flood Risk Assessment Tool (FRAT). Methodology and tools*. Global risk identification programme "Better Risk Information for Sound Decision Making". GRIP, UN-HABITAT, IFRC.
- Vinet, F. (2010) *Le risque inondation. Diagnostic et gestion*. Tec & Doc Lavoisier, 318 p., Paris.
- Vinet, F. et Defosse, S. (2006) La représentation du risque inondation et de sa prévention. In Laganier, R. (ed.) *Territoires, inondation et figures du risque. La prévention au prisme de l'évaluation*, 99-137, L'Harmattan.
- Vis, M., Klijn, F. and van Buuren, M. (Eds., 2001) *Living with floods. Resilience strategies for flood risk management and multiple land use in the Lower Rhine river basin*. The Netherlands Centre for River Studies, Delft.
- Ward, P.J., Moel, H. de and Aerts, J.C.J.H. (2011) How are flood risk estimates affected by the choice of return-periods? *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11: 3181-3195.
- Ward, R.C. (1978) *Floods. A geographical perspective*. McMillan Press, 244 pp., London.
- Warner, J.F., van Buuren, A. and Edelenbos, J. (Eds., 2013) *Making space for the river. Governance experiences with multifunctional river flood management in the US and Europe*. International Water Association Publishing.
- Wehrli, A. (coord., 2010) *Mapping the impacts of natural hazards and technological accidents in Europe. An overview of the last decade*. European Environment Agency Technical report, 144 p., Copenhagen.
- Whittow, J.B. (1988) *Diccionario de Geografía Física*. Alianza Ed., 557 p., Madrid.
- Wilby, R.L. and Keenan, R. (2012) Adapting to flood risk under climate change. *Progress in Physical Geography*, 36(3): 348-378.
- Wohl, E.E. (Ed., 2000) *Inland flood hazards. Human, riparian, and aquatic communities*. Cambridge University Press, 498 p.
- Wolters, H.A., Platteeuw, M. and Schoor, M.M. (Eds., 2001) *Guidelines for rehabilitation and management of floodplains. Ecology and safety combined*. The Netherlands Centre for River Studies (NCR), 184 p., Delft.
- Yen, C.L. and Yen, B.C. (1996) A study on the effectiveness of flood mitigation measures. In: Rivertech 96, Volume 2, *Proceedings of the 1st International Conference on New/Emerging Concepts for Rivers*: 555-562. Urbana, IL: International Water Resources Association.
- Zalewski, M. (2006) Flood pulses and river ecosystem robustness. *Frontiers in flood research, Le point de la recherche sur les crues*, IAHS Publication 305, 143-154.