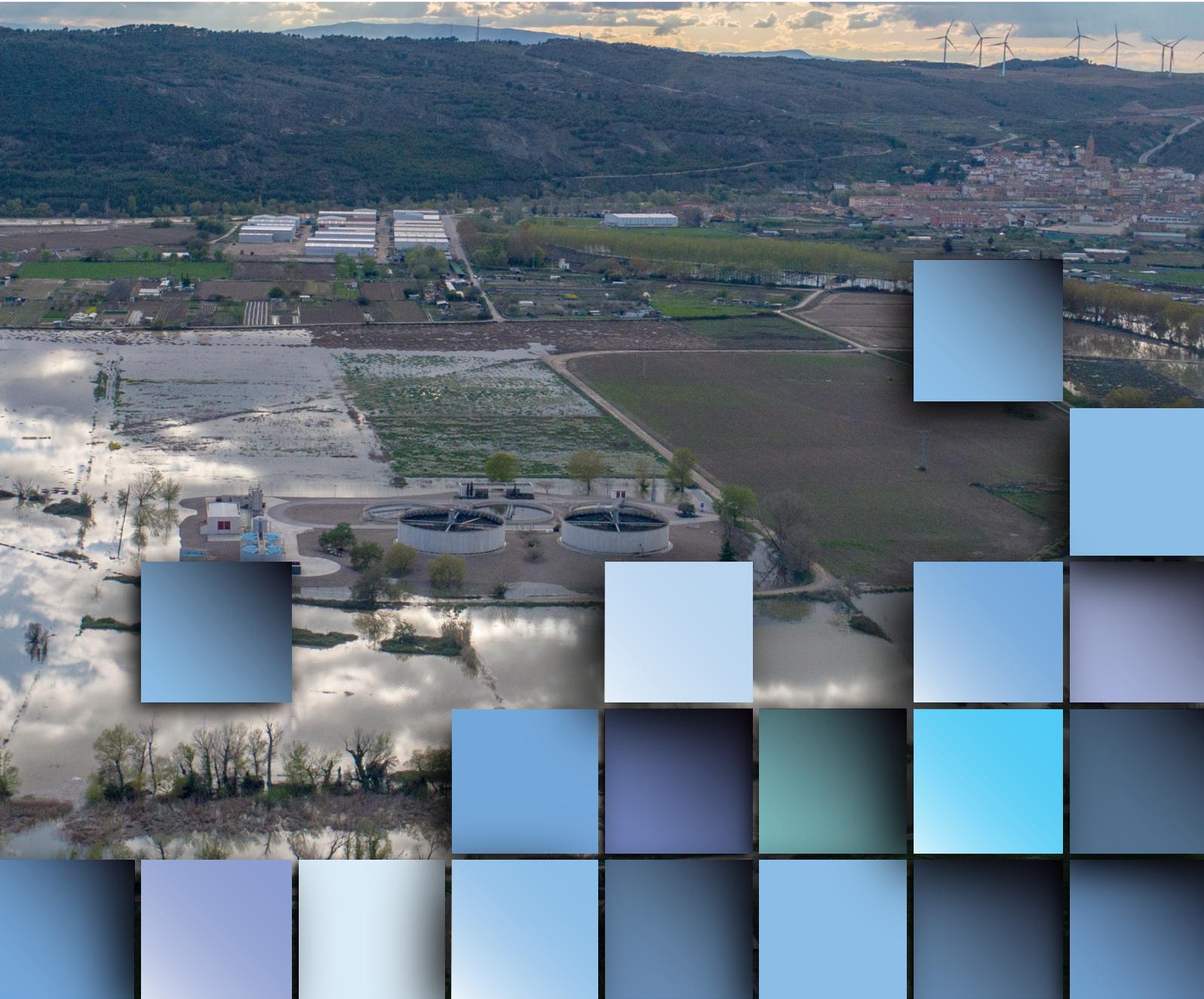


EVALUACIÓN DE LA RESILIENCIA DE LOS NÚCLEOS URBANOS FRENTE AL RIESGO DE INUNDACIÓN REDES, SISTEMAS URBANOS Y OTRAS INFRAESTRUCTURAS



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA

EVALUACIÓN DE LA RESILIENCIA DE LOS NÚCLEOS URBANOS FRENTE AL RIESGO DE INUNDACIÓN: **REDES, SISTEMAS URBANOS Y OTRAS INFRAESTRUCTURAS**

Octubre 2019



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA

Madrid, 2019

Dirección y coordinación:

D. Francisco Javier Sánchez Martínez¹
D^a. Mónica Aparicio Martín¹

Elaboración y redacción:

D. Javier Quirós Fernández²
D^a Ana Salgado Cámara³
D. Daniel Martín Anta³
D. Ignacio Prieto Leache³
D. Pablo Ferreiro Gómez³

¹ Dirección General del Agua. Subdirección General de Gestión Integrada del Dominio Público Hidráulico.

² Consulnima S.L.

³ TRAGSATEC. Grupo TRAGSA.

Imagen de portada: Desbordamiento del río Arga (meandro de Sotosardillas) en Funes, Navarra, el 12 de abril de 2018. Fuente: Confederación Hidrográfica del Ebro.

Las imágenes han sido realizadas por:

Augas de Galicia. Xunta de Galicia. Consellería de Infraestructuras e Mobilidade: fig. 13
Centro de Descargas del CNIG: figs. 36, 37
Centro Nacional de Educación Ambiental: fig. 2
Confederación Hidrográfica del Cantábrico: fig. 12
Confederación Hidrográfica del Ebro: figs. 20, 23, 26
Confederación Hidrográfica del Guadalquivir: fig. 21
Confederación Hidrográfica del Guadiana: figs. 10, 27
Consortio de Compensación de Seguros (CCS): figs. 1, 28, 29, 34
Department of Natural Resources & Mines, Queensland (Australia): fig. 7
Dirección General de Protección Civil y Emergencias: fig. 30
Elaboración propia: figs. 32, 33, 35, 39, 40
Grupo Tragsa: figs. 3, 4, 11, 14-19, 22, 24, 25, 31
Ministerio para la Transición Ecológica (MITECO): figs. 6, 38
Radio Televisión Española: figs. 8, 9
The Rockefeller Foundation – ARUP: fig. 5



MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA

Edita:

© Ministerio para la Transición Ecológica
Secretaría General Técnica
Centro de Publicaciones

Diseño y maquetación: Tragsatec. Grupo Tragsa

Catálogo de Publicaciones de la Administración General del Estado:
<http://publicacionesoficiales.boe.es/>

NIPO: 638-18-027-9

TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE FIGURAS	5
ÍNDICE DE TABLAS	7
PRESENTACIÓN	8
BLOQUE 1. VISIÓN GENERAL DE LA GUÍA Y CONCEPTOS BÁSICOS	10
1.1. Introducción	10
1.2. Objetivos	10
1.3. Definiciones	11
1.3.1. ¿Qué es una inundación? Tipos y aspectos relacionados.	11
1.3.2. Riesgo de inundación	14
1.3.3. Resiliencia	15
BLOQUE 2. IDENTIFICACIÓN DEL RIESGO Y DAÑOS POR INUNDACIÓN EN SISTEMAS URBANOS	17
2.1. ¿Cómo conocer el riesgo de inundación de una zona concreta?	17
2.2. Clasificación del daño	19
2.2.1. Daños directos	20
2.2.2. Daños indirectos.	20
2.3. Tipos de daños por inundación en los sistemas urbanos	21
2.3.1. Daños directos a la propia red o infraestructura	21
2.3.1. Daños directos a terceros por incremento del riesgo de inundación	21
2.3.2. Daños indirectos a terceros por la merma del servicio.	21
2.3.3. Daños indirectos en cascada.	22
BLOQUE 3. EFECTOS DE LAS INUNDACIONES EN LOS SISTEMAS URBANOS	23
3.1. Red de telecomunicaciones.	23
3.2. Red eléctrica	25
3.3. Red de suministro de gas e hidrocarburos	26
3.4. Red de abastecimiento y saneamiento	28
3.5. Redes de transporte	29
3.6. Red sanitaria y de atención en emergencias	32
3.7. Red de servicios	33
3.8. Sector industrial	34

BLOQUE 4. ESTRATEGIAS DE ADAPTACIÓN E INCREMENTO DE LA RESILIENCIA FRENTE AL RIESGO DE INUNDACIÓN	36
4.1. Adaptación de los elementos	36
4.1.1. Mitigación de daños en edificios	36
4.1.2. Mitigación de daños en equipamientos y servicios	37
4.1.3. Autoprotección	38
4.1.4. Adaptación de elementos lineales	39
4.2. Adaptación de la red	40
4.2.1. Infraestructuras redundantes	40
4.2.2. Servicios o redes alternativos	40
4.2.3. Rediseño o cambio de trazado de la infraestructura	41
4.2.4. Recuperación del servicio	41
BLOQUE 5. PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA EVALUACIÓN DE LA RESILIENCIA FRENTE A LA INUNDACION	42
5.1. Inventario de elementos existentes en el sistema urbano	42
5.2. Identificación de los elementos del inventario con riesgo	44
5.3. Identificación de los elementos críticos en las redes del sistema urbano	44
5.4. Identificación de interdependencias	46
5.5. Evaluación de los daños	46
5.6. Propuesta de actuaciones para el aumento de la resiliencia	50
5.7. Valoración de alternativas	52
5.8. Priorización de las medidas	52
BLOQUE 6. REFERENCIAS	53
6.1. Normativa y documentación técnica	53
6.2. Bibliografía y direcciones web de interés	54
6.3. Proyectos de investigación	55
6.4. Webs gubernamentales	55
APÉNDICE. Ejemplo de aplicación de la metodología para la evaluación de la resiliencia frente a la inundación	56
1. Obtención del Inventario de Elementos con Riesgo de Inundación para el periodo de retorno de 500 años	56
2. Valoración del riesgo	62
3. Propuesta de medidas	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Guía para la reducción de la vulnerabilidad de los edificios frente a inundaciones. CCS, 2017 . . .	9
Figura 2. Daños por inundación en un sistema urbano de Málaga (2009)	11
Figura 3. Inundación pluvial, fluvial y marina	12
Figura 4. Afección inundación fluvial a edificio	13
Figura 5. Esquema del City Resilience Index y ciudades colaboradoras	16
Figura 6. Consulta de los servicios de las capas de riesgo en el visor del SNCZI	19
Figura 7. Tipos de daños por inundación	19
Figura 8. Daños directos intangibles: evacuados	20
Figura 9. Ejemplo de daños tangibles por inundación	20
Figura 10. Efecto barrera durante la avenida del río Azuer (2010)	21
Figura 11. Ejemplo de elementos de la red de telecomunicaciones: radioenlace	24
Figura 12. Ejemplo de daños sobre poste de madera	24
Figura 13. Señalización de arqueta en Cervo (Lugo) por inundación (2010)	25
Figura 14. Ejemplo de subestación eléctrica	25
Figura 15. Ejemplo de daños sobre la red eléctrica	26
Figura 16. Ejemplo de tubería de distribución de gas	27
Figura 17. Simulacro de vertido: ejemplo de barrera de contención de hidrocarburos	28
Figura 18. Vertido accidental de hidrocarburos a un cauce superficial	28
Figura 19. Ejemplo de elementos de la red de abastecimiento y saneamiento: EDAR de San Pantaleón	29
Figura 20. EDAR de Funes (Navarra) alcanzada por la avenida del río Arga (2018)	29
Figura 21. Daños en red de ferrocarril en Aguadulce (Sevilla) por inundación (2018)	31
Figura 22. Daños en paso artificial en Pueyo (Navarra) por inundación (2019)	31
Figura 23. Daños en carretera en Pueyo (Navarra) por inundación (2019)	31
Figura 24. Destrucción de carretera por inundación por las crecidas del río Ésera en el valle de Benasque (Huesca) (2014)	32
Figura 25. Gestión del servicio de brigadas de emergencia en Alcoy (2017) por inundación	33
Figura 26. Granja afectada por inundación	34
Figura 27. Zona industrial en Daimiel (Ciudad Real) alcanzada por la avenida del río Azuer (2010)	35
Figura 28. Tipos de acciones para reducir la vulnerabilidad de un edificio	36
Figura 29. Acciones para reducir la vulnerabilidad de equipamientos y servicios	37
Figura 30. Guía técnica de elaboración de un plan de autoprotección, Guía de autoprotección en centros escolares y Guía del riesgo de inundación para profesores	39
Figura 31. Ejemplo de erosión (izquierda) y obras de restauración y protección (derecha) en el margen del río Alhama en Alfaro (La Rioja) (pozos al fondo de la imagen)	40

Figura 32. Fases de la evaluación de la resiliencia urbana al riesgo de inundación	42
Figura 33. Ejemplo de diagrama de interdependencias	46
Figura 34. Esquema conceptual de las fases de diagnóstico de daños	47
Figura 35. Gráfica de calado frente a velocidad y la categorización del daño para la avenida de 500 años	49
Figura 36. Selección de división administrativa en el visor de búsquedas	56
Figura 37. Resultado de la búsqueda de productos para el municipio de Valladolid. Se ha seleccionado el producto BTN25	57
Figura 38. Descarga de zonas inundables asociadas a periodos de retorno disponibles en la IDE del MITECO	58
Figura 39. Zonas inundables disponibles en el SNCZI para el periodo de retorno de 500 años en el entorno del municipio de Valladolid	58
Figura 40. Inventario de elementos con riesgo de inundación para el periodo de retorno de 500 años	59

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Métodos de mitigación de los daños en edificaciones existentes. Fuente: Adaptación de Guía para la reducción de la vulnerabilidad de los edificios frente a inundaciones. CCS, 2017	37
Tabla 2. Elementos a identificar en el inventario	43
Tabla 3. Requerimientos de los edificios críticos. Fuente: Technologies for Flood Protection of the Built Environment. FloodProBE Project Report	45
Tabla 4. Valoración del grado de afección a partir de la categorización de calados y velocidades para la avenida de 500 años. Fuente: Guía técnica de apoyo a la aplicación del reglamento del dominio público hidráulico en las limitaciones a los usos del suelo en las zonas inundables de origen fluvial. MAPAMA, 2017	48
Tabla 5. Puntuación del riesgo asignada según la valoración del daño	49
Tabla 6. Visión general de la aplicabilidad de las estrategias de protección contra inundaciones para elementos críticos. Adaptación de la tabla 3.20 del documento “D 4.3: Technologies for floodproofing “hotspot” buildings”, publicado dentro del marco del proyecto FloodProBE	51
Tabla 7. Elementos de interés identificados en zona inundable para el periodo de retorno de 500 años para el municipio de Valladolid	60
Tabla 8. Elementos críticos identificados en zona inundable para el periodo de retorno de 500 años para el municipio de Valladolid	62
Tabla 9. Valoración del daño en función del periodo de retorno para los elementos críticos en riesgo. Fuente: IGN	63
Tabla 10. Medidas propuestas y valoración del daño asociado	64

PRESENTACIÓN

La **Directiva 2007/60 relativa a la evaluación y gestión de los riesgos de inundación** (en adelante Directiva de Inundaciones), transpuesta al ordenamiento jurídico español por el **Real Decreto 903/2010, de 9 de julio, de evaluación y gestión de riesgos de inundación**, tiene como objetivo principal reducir las consecuencias de las inundaciones.

De acuerdo con los considerandos de esta Directiva, las inundaciones pueden provocar víctimas mortales, el desplazamiento de personas, causar daños al medio ambiente, comprometer gravemente el desarrollo económico y debilitar las actividades económicas. Si bien **“las inundaciones son fenómenos naturales que no pueden evitarse”**, “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”.

Esta Directiva establece que, para evitar y reducir los impactos adversos de las inundaciones en la zona afectada, deben elaborarse **Planes de Gestión del Riesgo de Inundación** (PGRIs), que deben, por tanto, tener en cuenta las características de las zonas que abarcan y ofrecer soluciones adaptadas a sus necesidades y prioridades garantizando, al mismo tiempo, una coordinación pertinente con las demarcaciones hidrográficas y promoviendo la realización de los objetivos medioambientales establecidos en la legislación comunitaria.

La mayor parte de los PGRIs (16 demarcaciones hidrográficas), fueron aprobados por el Gobierno, en reunión del Consejo de Ministros del 15 de enero de 2016 y publicados en el BOE nº 19, de 22 de enero de 2016. Posteriormente, en reunión del Consejo de Ministros de 15 de abril de 2016, se aprobó el PGRI de la Demarcación Hidrográfica de Illes Balears, publicado en el BOE nº 92, de 16 de abril de 2016 y ya en el año 2018, por el Real Decreto 126/2018, de 9 de marzo, se aprobó el PGRI del distrito de cuenca fluvial de Cataluña.

En este sentido, los PGRIs aprobados establecen, como una de las medidas a ejecutar, la **adaptación de los elementos situados en las zonas inundables** para reducir las consecuencias adversas en episodios de inundaciones en viviendas para lo cual, se establece como medida la **elaboración de guías técnicas**.

En definitiva, aparte de disponer de normativa que facilite herramientas para gestionar el riesgo de forma coordinada, el diseño urbano y edificatorio también debe evolucionar hacia planteamientos o ideas que permitan mejorar la resiliencia de los elementos y prepararlos para afrontar los futuros condicionantes climatológicos.

Así, en este contexto, desde la Dirección General del Agua del MITECO se han elaborado cinco guías específicas para la adaptación al riesgo de inundación, entre las que se encuentra la que se desarrolla en este documento: **“GUÍA DE EVALUACIÓN DE LA RESILIENCIA DE LOS NÚCLEOS URBANOS FRENTE AL RIESGO DE INUNDACIÓN”**.

Aunque el contenido de esta guía se complementa con el resto de publicaciones elaboradas en este marco, en particular, se complementa con la **Guía para la reducción de la vulnerabilidad de los edificios frente a inundaciones**¹, editada en 2017 en virtud de Convenio del Consorcio de Compensación de Seguros (entidad pública empresarial del Ministerio de Economía, Industria y Competitividad) y la Dirección General del Agua del Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, para el desarrollo de varias medidas de reducción del riesgo por inundación incluidas en los planes de gestión del riesgo de inundaciones. Gran parte de los planteamientos comunes ya se han desarrollado en dicha guía.

A esta guía le ha seguido otra que la desarrolla en el aspecto más técnico, la **Guía de adaptación al riesgo de inundación: adaptación de edificios, criterios de diseño**, editada en 2018 también por la Dirección General del Agua.

¹ En adelante, Guía de Edificios.

La guía se desarrolla en cinco bloques temáticos bien diferenciados:

- En el **PRIMER BLOQUE: VISIÓN GENERAL DE LA GUÍA Y CONCEPTOS BÁSICOS**, se ofrece al usuario una visión general de la guía y de los conceptos esenciales, que serán la base para acercarle a los siguientes bloques temáticos.
- En el **SEGUNDO BLOQUE: IDENTIFICACIÓN DEL RIESGO Y DAÑOS POR INUNDACIÓN EN SISTEMAS URBANOS**, se incluye información relevante para la identificación del riesgo de inundación, así como los daños que pueden generarse, para un determinado sistema urbano.
- En el **TERCER BLOQUE: EFECTOS DE LAS INUNDACIONES EN LOS SISTEMAS URBANOS**, se presenta una descripción de las diferentes redes, así como los elementos que las componen, que conforman en sistema urbano, y los daños por inundaciones más habituales que son susceptibles de sufrir.
- En el **CUARTO BLOQUE: ESTRATEGIAS DE ADAPTACIÓN E INCREMENTO DE LA RESILIENCIA FRENTE AL RIESGO DE INUNDACIÓN**, se aportan posibles estrategias a adoptar para evitar y minimizar los daños, tanto para la adaptación de un elemento de manera individual, una red en su conjunto o al propio sistema urbano de manera global.
- Finalmente, en el **QUINTO BLOQUE: PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA EVALUACIÓN DE LA RESILIENCIA FRENTE A LA INUNDACION**, se ofrece un desarrollo metodológico inicial, con el que se pretende orientar al usuario en los pasos a dar para evaluar y mejorar la resiliencia del sistema urbano. Este bloque se completa con un ejemplo de aplicación de esta metodología sobre una ciudad, de la manera más realista posible pero siempre teniendo en cuenta de que se trata de un ejemplo de carácter didáctico.

Como complemento a los bloques temáticos, éstos se acompañan de los siguientes apéndices:

- **Fuentes cartográficas** para la identificación de elementos del sistema urbano.
- **Ejemplo de aplicación de estrategia de adaptación para un elemento crítico en zona inundable.**
- **Ejemplo de aplicación de la metodología de evaluación de la resiliencia frente a la inundación:** basado en la aplicación a un sistema urbano real.



Figura 1. Guía para la reducción de la vulnerabilidad de los edificios frente a inundaciones. CCS, 2017.

BLOQUE 1. VISIÓN GENERAL DE LA GUÍA Y CONCEPTOS BÁSICOS

1.1. Introducción

Las inundaciones son la catástrofe natural que mayores daños generan en España, tanto materiales como en pérdida de vidas humanas, conservándose gran número de referencias históricas. Los daños por inundación se extienden prácticamente por todo el territorio nacional, con mayor o menor frecuencia e intensidad según las zonas.

Cada año se producen en España una media de diez episodios graves de inundación. Según el Consorcio de Compensación de Seguros y la Dirección General de Protección Civil y Emergencias, en España las inundaciones han causado la muerte de 312 personas en los últimos 20 años, y daños materiales por valor de 800 millones de euros al año.

Las indemnizaciones por daños materiales causados por las inundaciones, sin incluir explotaciones agrarias, ascendieron a 5.564 millones de euros entre 1971 y 2015 (4.564 millones de euros entre 1987 y 2015). En contraste con estas cifras, sólo entre los años 1.990 y 2.000, los daños causados por los eventos meteorológicos (pedrisco, heladas, vendavales, sequías, inundaciones, etc.) sobre la agricultura ascendieron a la cifra de 6.195 millones de euros, pudiendo atribuirse a las inundaciones, de acuerdo con las conclusiones de la Confederación de las Naciones Unidas para la Reducción de los Riesgos de Desastres (Sendai, marzo de 2015), del orden del 60% (3.692 millones de euros) de esa cifra.

De acuerdo con el Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables desarrollado para dar cumplimiento a la Directiva de Inundaciones, se estima que cerca de un 10% de la superficie de las zonas inundables (47.580 ha) asociadas al periodo de retorno de 500 años en las denominadas Áreas de Riesgo Potencial Significativo de Inundación (ARPSIs) se corresponden con terrenos urbanos, industriales o de infraestructuras asociadas a las redes urbanas, y que unos 2,5 millones de personas habitan en zona inundable.

Uno de los objetivos básicos en la gestión integral del riesgo de inundación es la mitigación del mismo mediante la aplicación de un conjunto de medidas planificadas coordinadamente con las que se consiga reducir los daños causados por las inundaciones y acelerar los tiempos de recuperación y vuelta a la normalidad, evitando producir daños a terceros y generar nuevos riesgos, así como exponerse a ellos. En definitiva, construir una sociedad resiliente, capaz de soportar y recuperarse de estos desastres. La siguiente frase resume el tipo de acciones que se deben emprender, cada uno desde el ejercicio de su responsabilidad:



**“Adaptación al riesgo de inundación:
Prevención, protección, preparación y recuperación”**

1.2. Objetivos

El objetivo de la colección de guías de adaptación al riesgo de inundación es identificar los elementos y bienes que pueden verse afectados por inundaciones, e indicar las medidas para su adaptación al mismo e incrementar su resiliencia.

El objeto de esta guía es servir de ayuda para **identificar los daños directos e indirectos que una inundación puede causar en una ciudad o en su entorno**, de forma que se puedan realizar **actuaciones de gestión del riesgo que ayuden a mejorar la resiliencia de la ciudad** y preparándose para afrontar los futuros condicionantes climatológicos, agravados previsiblemente por los efectos del cambio climático, todo ello de acuerdo con el marco de Naciones Unidas a través de su programa de mejora de la resiliencia de las ciudades (*City Resilience Profiling Programme*) o los distintos programas y proyectos europeos destinados a la mejora de la resiliencia de las ciudades y la protección de las infraestructuras críticas.

En suma, como objetivos de esta guía se establecen los siguientes:

1. **CONCIENCIAR** sobre la necesaria **convivencia con las inundaciones** y de la necesidad de que los gestores de los sistemas urbanos y todos los organismos y asociaciones involucradas trabajen para **mitigar los efectos de las inundaciones**.
2. **AYUDAR A COMPRENDER** los efectos de este problema y **DOTAR** de herramientas para poder **identificar el peligro de inundación** al que los sistemas urbanos están expuestos.
3. **RECORDAR** a los agentes implicados las **responsabilidades** que todos tienen en cuanto a la evaluación y prevención del riesgo.
4. **IDENTIFICAR** los **elementos de las ciudades**: redes, equipamientos, infraestructuras y servicios urbanos, existentes en las ciudades y en sus entornos que pueden verse afectados por las inundaciones y los potenciales daños directos e indirectos que pueden causar.
5. **ORIENTAR** sobre las distintas **soluciones de gestión y adaptación** del riesgo de inundación que permitan **minimizar los daños**, y con ello **mejorar la resiliencia** de las ciudades, de sus infraestructuras y, en particular, de los sistemas urbanos.
6. **IMPULSAR** la elaboración de **planes locales de gestión del riesgo de inundación**.



Figura 2. Daños por inundación en un sistema urbano de Málaga (2009).

1.3. Definiciones

A continuación, se exponen conceptos fundamentales que ayudan a desarrollar adecuadamente el resto de apartados de esta guía:

1.3.1. ¿Qué es una inundación? Tipos y aspectos relacionados

La Directiva de Inundaciones define una inundación como “cubrimiento temporal por agua de una tierra que normalmente no se encuentra cubierta”. Es decir, la ocupación por el agua de zonas habitualmente libres

como consecuencia de lluvias torrenciales, desbordamiento de cauces, deshielo, subida de mareas, etc. o una combinación de varias.

Las inundaciones naturales son principalmente de dos tipos: continentales (anegamiento por aguas dulces, ya sean fluviales o pluviales) y costeras (afección por aguas marinas). Los principales tipos de inundación estudiadas en el contexto del SNCZI son las siguientes:

- **Inundaciones fluviales:** Causadas por el desbordamiento de ríos o arroyos cuando el caudal circulante supera la capacidad del cauce, como consecuencia de lluvias intensas o deshielos, principalmente.
- **Inundaciones pluviales:** Originadas por precipitación intensa en zonas con dificultades de drenaje superficial. No tienen vinculación directa con la red de cauces, sino que se producen por la incapacidad del terreno para drenar grandes cantidades de lluvia.
- **Inundaciones marinas:** Producidas por el aumento del nivel del mar o la acción del oleaje en momentos de temporal.



Figura 3. Inundación pluvial, fluvial y marina.

Zonas inundables

Cuando se habla de eventos de inundación, ya se trate de fluvial, pluvial o marino, es necesario entender que supone la existencia de unas **zonas inundables** asociadas. Se trata de un concepto introducido por el Texto Refundido de la Ley de Aguas (artículo 11), definido como “los terrenos que pueden resultar inundados durante las crecidas no ordinarias de los lagos, lagunas, embalses, ríos o arroyos”.

A su vez, la modificación del Reglamento del Dominio Público Hidráulico (RD 638/2016), en su artículo primero modifica el apartado 1 del artículo 14 con la siguiente redacción: “Se considera zona inundable los terrenos que puedan resultar inundados por los niveles teóricos que alcanzarían las aguas en las avenidas cuyo periodo estadístico de retorno sea de 500 años, atendiendo a estudios geomorfológicos, hidrológicos e hidráulicos, así como de series de avenidas históricas y documentos o evidencias históricas de las mismas en los lagos, lagunas, embalses, ríos o arroyos”.

La extensión de la zona inundable depende principalmente del caudal de agua circulante (superior al máximo posible circulante por el cauce) y de la topografía y usos del suelo del terreno, los cuales condicionan los calados y velocidades de la inundación, entre otros factores.

Para un mismo caudal y sección de cauce, la extensión de la zona inundable en la llanura de inundación será mayor pero de menor calado y velocidades en aquellas zonas planas, de vega, sin desnivel y sin obstáculos a la corriente, mientras que en caso de zonas encajadas o montañosas, la extensión será menor pero de mayor calado y velocidad. Esto es de especial interés a la hora de valorar la peligrosidad asociada a una avenida, ya que para una misma tipología de edificación, puede haber mayor riesgo en el segundo caso.

Velocidad y calado. Relación

El **calado** es uno de los factores clave en el grado de afección de la inundación y a la hora de diseñar edificios resilientes. Los espacios, objetos y materiales que se puedan ver afectados por la presencia del agua deberán estar por encima del calado o profundidad de la inundación, los daños aumentan significativamente cuando el agua supera el nivel del solado de la primera planta habitable.

Además, también es importante tener en cuenta que el calado en el exterior de un edificio puede ser incluso diferente al calado interior, generando fuerzas hidrostáticas horizontales sobre los cerramientos que deben ser consideradas en el diseño.

A su vez, la **velocidad** de inundación es la velocidad de desplazamiento del agua durante un episodio de avenida. Al igual que los calados, depende de varios factores. Puede provocar diversos daños asociados más allá del incremento de los esfuerzos por sobre presión en construcciones e infraestructuras, provocados por el arrastre de objetos de grandes dimensiones, la erosión de terrenos y la destrucción de áreas de cultivo.

El arrastre de vehículos, rocas y otro tipo de objetos crea una situación adicional de peligrosidad por efecto ariete contra las edificaciones, paramentos, vehículos o personas. Los materiales arrastrados, a su paso por puentes, pasos subterráneos o en situaciones análogas pueden llegar a acumularse formando diques eventuales que elevan puntualmente el nivel del agua de forma rápida y violenta, multiplicando los efectos destructivos en el momento de su rotura. Todo ello queda potenciado por la modificación de la permeabilidad en superficies urbanas (asfalto, hormigón o cualquier otro tipo de material que no sea terreno natural drenante, al impedir la reducción del volumen de agua por absorción natural e infiltración).

Pueden encontrarse mayores velocidades en zonas del cauce exteriores a la corriente en ríos de carácter meandriforme, que suelen derivar en fenómenos de erosión. En casos especialmente graves, pueden provocar daños en edificios ubicados próximos a la margen del río al desestabilizar el terreno sobre el que se asientan. También se observan altas velocidades del agua al discurrir por calles de cascos urbanos de elevada pendiente, pudiendo incidir negativamente en edificios que obstaculicen su recorrido.

Las edificaciones no están habitualmente dimensionadas para soportar estos aumentos bruscos y puntuales de acciones tales como grandes cargas horizontales por aumento de cauces o incluso lavado del terreno y el sistema de cimentación.

La suma de estos factores: aumento repentino de la velocidad del agua, aumento del caudal o del producto de ambos, incrementa notablemente la afección de la inundación.



Figura 4. Afección inundación fluvial a edificio.

Periodo de retorno

Es un término utilizado como consecuencia de la aleatoriedad de los eventos de precipitación o avenidas, ya que para estudiarse su evolución y predicción es necesario realizar una aproximación desde conceptos estadísticos.

En este sentido, para una avenida concreta de una magnitud determinada, se puede relacionar el periodo de retorno con la probabilidad de que ese caudal de avenida sea igualado o superado en un año, siendo igual a la inversa de dicha probabilidad. Por ejemplo, para el periodo de retorno de 100 años, esa probabilidad será igual a $1/T = 1/100 = 0,01$. Es decir, existe un 1% de probabilidad de que un año se supere ese valor de caudal y un 99% de probabilidad de que no se supere.

Dicho de otra forma, también podría definirse como la media a largo plazo del tiempo o número de años que separa una crecida de una magnitud concreta de una segunda avenida de magnitud igual o superior. Esto supone decir que el caudal correspondiente a un periodo de retorno de 100 años, se superará, en término medio, una vez cada 100 años, pero no implica que no puedan producirse dos o más avenidas de igual o superior magnitud en un periodo de tiempo inferior, al ser un concepto estadístico.

Extensión afectada

Área que ocupa la zona inundada. Para un mismo caudal de agua circulante que desborda, la superficie afectada puede ser distinta en función de las condiciones topográficas y de la capacidad del sistema de drenaje. Cuanto mayor es la extensión afectada, más elementos son susceptibles de sufrir inundaciones.

Calado o profundidad de la inundación

Es una de las características más relevantes y un factor clave en el diseño frente a inundaciones, puesto que la profundidad que alcanza la inundación depende de varios factores, como la topografía de la zona cercana al cauce, la presencia de puentes que obstruyan el flujo normal del río, el sistema de drenaje urbano, la permeabilidad y capacidad de infiltración del terreno, etc.

Tiempo de permanencia de la inundación

Es el tiempo que permanece el agua en un edificio o terreno inundado. Cuanto mayor sea el tiempo de permanencia alrededor del edificio, mayor será el daño y las consecuencias: los elementos constructivos sufrirán un mayor deterioro y la probabilidad de que el agua consiga entrar en los edificios será mayor. Lo mismo sucede con las inundaciones en el interior del edificio, ya que un tiempo de permanencia mayor implica daños constructivos más graves.

Transporte o caudal sólido

La carga sólida transportada durante la inundación representa un peligro importante, tanto para la población como para la estructura y cerramientos de los edificios, ya sea por impacto directo o por acumulación. En consecuencia, el diseño de los edificios debe permitir minimizar y prevenir, en la medida de lo posible, el transporte sólido y ser capaz de resistir los potenciales impactos.

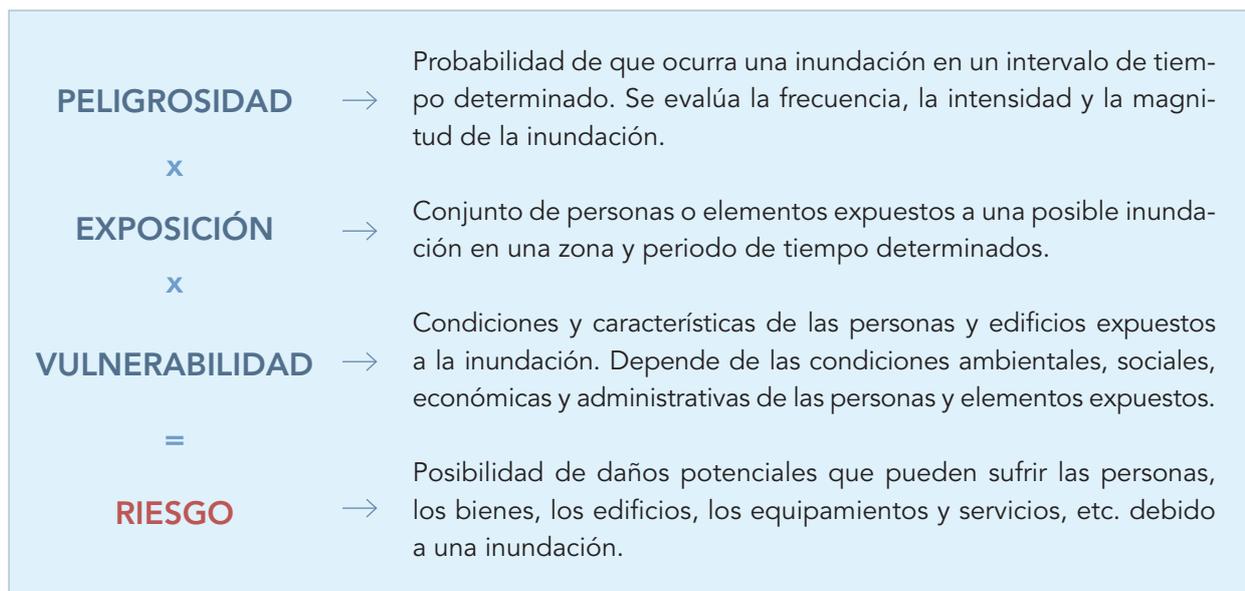
Tiempo de concentración de la cuenca

Es el desfase entre la entrada del agua en forma de precipitación y su salida como caudal por el punto de desagüe. Está determinado por el tiempo que tarda en llegar a la salida de la cuenca el agua que procede del punto hidrológicamente más alejado, y representa el momento a partir del cual el caudal de escorrentía es constante. Este parámetro proporciona una aproximación del tiempo de respuesta desde que comienzan las precipitaciones hasta que se produce una avenida.

1.3.2. Riesgo de inundación

Tal y como recoge la Directiva de Inundaciones, se define el riesgo de inundación como la combinación de la probabilidad de que se produzca una inundación y de las posibles consecuencias negativas para la salud humana, el medio ambiente, el patrimonio cultural y la actividad económica, asociadas a la misma.

El nivel de riesgo depende de tres variables: la **peligrosidad**, la **exposición** y la **vulnerabilidad**. Teniendo en cuenta estos conceptos, se puede dar el caso de que una inundación, siendo muy peligrosa (gran extensión de la zona inundable, el agua alcanza altos niveles y velocidades, tiempos de permanencia del agua de larga duración, etc.) no afecte a una zona vulnerable (zonas pobladas, industriales o de especial interés medioambiental) por lo que supone un riesgo bajo o nulo. O, por el contrario, podría ocurrir que una inundación poco peligrosa presente un riesgo alto al afectar a zonas vulnerables.



1.3.3. Resiliencia

Para desarrollar el concepto de resiliencia territorial y urbana, hay que referirse en primer lugar a Naciones Unidas, que la define como “la capacidad de un sistema, comunidad o sociedad expuestos a una amenaza para **resistir, adaptarse y recuperarse** de sus efectos de manera oportuna y eficaz, lo que incluye la preservación y la restauración de sus estructuras y funciones básicas”, siendo uno de los pilares de la adaptación al cambio climático promovida a través del **Panel Intergubernamental para el Cambio Climático** (IPCC, por sus siglas en inglés).

La ONU desarrolla, a través de la **Oficina para la Reducción del Riesgo de Desastres** (UNISDR, por sus siglas en inglés), las políticas de reducción de desastres, coordinando esfuerzos internacionales y aconsejando e informando a los distintos actores para lograr la reducción del riesgo de desastres.

Este organismo desarrolla el **Marco de Acción de Sendai** para la Reducción del Riesgo de Desastres, instrumento acordado por la ONU para la reducción de desastres en el periodo 2015-2030, sucediendo al anterior Marco de Acción de Hyogo 2005-2015. El Marco de Sendai identifica siete objetivos mundiales y cuatro prioridades para alcanzar entre 2020 y 2030. Las cuatro prioridades son: comprender el riesgo de desastres, fortalecer la gobernanza para el riesgo de desastres, invertir en la resiliencia y la reducción del riesgo de desastres, y mejorar la preparación en desastres para una efectiva respuesta, así como “reconstruir mejor” en términos de recuperación, rehabilitación y reconstrucción. De los siete objetivos, uno de ellos está específicamente relacionado con el ámbito de la guía: “Reducir considerablemente los daños causados por los desastres en las infraestructuras vitales y la interrupción de los servicios básicos, como las instalaciones de salud y educativas, incluso desarrollando su resiliencia para 2030”.

Estos planteamientos fueron asumidos por la **Cumbre para el Desarrollo Sostenible de Naciones Unidas** (septiembre de 2015) por la que la gran mayoría de países aprobaron la **Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible**, que incluye, con ese horizonte temporal, los **Objetivos de Desarrollo Sostenible** (ODS) en los que los conceptos de prevención de riesgos y resiliencia son un elemento fundamental, y que España tiene que desarrollar en virtud de su Agenda 2030.

En este entorno, en 2002 se creó el programa ONU-Hábitat (**Programa de Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos**), cuyo objetivo es el conseguir ciudades resilientes ante sus diversas amenazas, entre las que, por supuesto, están las inundaciones desde una perspectiva de la ciudad como un sistema integrado por distintos sistemas y agentes (públicos, privados, ciudadanía, etc.) de cuya interacción han de resultar unos planeamientos que lleven a ciudades más seguras, que sufran menos daños y se recuperen mejor de ellos.

Dentro de este programa se integra el **Programa de Perfiles de Ciudades Resilientes** (CRPP por sus siglas en inglés), una herramienta para cuantificar la resiliencia de una ciudad a sus amenazas y valorar su evolución como resultado de las medidas adoptadas.

Estos conceptos se materializan por las distintas autoridades públicas en sus distintos niveles, desde el nacional a local, e incluso por parte de otras instituciones y entes privados, a veces en cooperación, como, por otra parte, es deseable.

A este respecto, merecen especial mención distintas fundaciones y proyectos, como el **"City Resilience Index"**, una herramienta para valorar la resiliencia de una ciudad (análogamente al CRPP), una de cuyas cuatro dimensiones es "las infraestructuras y el medio ambiente". Y se está desarrollando el **"Desafío de las cien ciudades resilientes"**, al que en julio de 2018 ya se habían incorporado 97 ciudades del mundo.



Figura 5. Esquema del City Resilience Index y ciudades colaboradoras.

BLOQUE 2. IDENTIFICACIÓN DEL RIESGO Y DAÑOS POR INUNDACIÓN EN SISTEMAS URBANOS

En el presente bloque se propone, en primer lugar, se proponen distintas fuentes de información para la identificación de la vulnerabilidad y riesgo por inundación para zona objeto de estudio.

A continuación, se describen los tipos de daños que pueden derivarse de una inundación en un sistema urbano y deben tenerse en cuenta a la hora de identificar los daños específicos asociados a cada una de las redes descritas en el BLOQUE 3.

Por último, aunque los daños que puede producir una inundación en un núcleo de población o ciudad pueden ser muy diversos, se ofrece una clasificación de los mismos de manera general como punto de partida, particularizando, a continuación, con los daños más habituales que se producen durante una inundación.

2.1. ¿Cómo conocer el riesgo de inundación de una zona concreta?

Actualmente es sencillo para gran parte del territorio conocer la **cartografía de zonas inundables** asociada a las inundaciones de tipo fluvial y costera, así como las **inundaciones históricas** ocurridas en nuestro país.

Esta información puede ayudar a analizar la peligrosidad a la que está expuesta una ciudad o territorio, principalmente si se dispone de datos asociados a la extensión de la zona inundable, la frecuencia de las inundaciones mediante el periodo de retorno o el número de veces que históricamente se ha inundado, la altura potencial del agua, la velocidad del agua que impacta o roza a un determinado elemento, etc.

En relación con las inundaciones históricas ocurridas hasta la fecha, una herramienta muy importante es el **Catálogo Nacional de Inundaciones Históricas** (CNIH) de la Dirección General de Protección Civil y Emergencias (DGPCyE) del Ministerio del Interior (<http://www.proteccioncivil.es/cnih>). La aplicación es un visor cartográfico que, entre otras funcionalidades, permite realizar consultas predeterminadas y generar nuevas consultas, visualizar toda la información asociada a un episodio, realizar cálculos estadísticos y obtener gráficos de los mismos; elaborar mapas temáticos, informes, etc.

Por su parte, la cartografía de zonas inundables elaborada por las Administraciones Públicas se encuentra disponible en visores cartográficos dentro de las páginas web de los organismos de cuenca (confederaciones hidrográficas en las cuencas intercomunitarias y departamentos equivalentes de las comunidades autónomas en las cuencas intracomunitarias), así como en los organismos con competencias en materia de protección civil y ordenación del territorio en determinadas comunidades autónomas.

Siguiendo los principios de la Directiva de Inundaciones, se ha puesto en marcha 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 zonas inundables (<https://sig.mapama.gob.es/snczi/>), que pretende ofrecer un sistema completo de navegación por todo el territorio nacional, poniendo a disposición del ciudadano todos los mapas de zonas inundables realizados por los organismos de cuenca, más aquellos que aporten las comunidades autónomas dentro de sus competencias.

La elaboración de cartografía de zonas inundables es un proceso continuo, por lo que el visor se encuentra en **actualización constante**, bien por la incorporación de nueva cartografía o bien por la actualización de la existente. Sin embargo, si un elemento no está enclavado en una zona identificada en el visor como inundable **no significa necesariamente que no esté expuesto al riesgo**: cabe la posibilidad de que esa zona no se haya estudiado todavía o que sea una zona con problemas específicos de inundaciones pluviales.

Habría que destacar, por tanto, que en el SNCZI actual principalmente se consideran dos tipos de inundaciones: las **inundaciones fluviales** debidas al desbordamiento de cauces y las **inundaciones debidas al mar**.

Conviene reiterar que estos mapas de zonas inundables, si bien se han generado con la mejor tecnología disponible por el momento, tienen ciertas limitaciones, por lo que es fundamental asumir que siempre existe una incertidumbre en los datos, ya que se trabaja con registros históricos, y que los modelos matemáticos que se emplean para el cálculo de las zonas inundables no tienen en cuenta, por el momento, las obstrucciones debidas a vehículos, rocas, flotantes, erosiones, movimientos del terreno, rotura de puentes, etc.

En la Guía para la reducción de la vulnerabilidad de los edificios frente a las inundaciones (www.conorseguros.es/web/documents/10184/48069/guia_inundaciones_completa_22jun.pdf) se describe cómo consultar esta información.



En su apéndice 2 se recogen ejemplos prácticos para identificar el riesgo de inundación de una zona en el CNIH y en el SNCZI.

A efectos de esta guía, los elementos con riesgo de inundación asociado ya han sido identificados, dentro del marco de los trabajos de cumplimiento de la Directiva de Inundaciones, y se presentan en el visor del SNCZI a través de una categoría específica de “mapas de riesgo”.

Dentro de esta categoría, los elementos con riesgo se han clasificado de acuerdo a los siguientes tipos, y se ofrecen en su servicio independiente:

- **Riesgo a la población:** con la estimación de los habitantes que pueden verse afectados por la inundación.
- **Riesgo a las actividades económicas:** con las actividades económicas de la zona que pueden verse afectadas.
- **Riesgo en puntos de especial importancia:** que incluyen las instalaciones industriales IPPC¹, EDAR, elementos del patrimonio cultural y aquellos que puedan suponer una afección de importancia para las labores de protección civil.
- **Áreas de importancia medioambiental:** que incluyen las zonas protegidas para la captación de aguas destinadas a consumo humano, masas de agua de uso recreativo, zonas para la protección de hábitats o especies y masas de aguas de la Directiva Marco del Agua².

Para ello, una vez se ha accedido al visor del SNCZI, se debe consultar al servicio específico de “**Mapas de riesgo**” dentro de los contenidos sobre “**Áreas de riesgo potencial significativo de inundación**” del árbol de servicios del mismo.

En particular, el servicio más relevante para el objeto de esta guía es el de “**Riesgo en puntos de especial importancia**”, puesto que contiene elementos vulnerables en situación de riesgo con valor especial, ya sea por tratarse de patrimonio cultural, instalaciones con riesgo de contaminación o elementos de interés para las labores de protección civil, todos ellos objeto de análisis. Además, los elementos identificados cuentan con información asociada que puede consultarse mediante la herramienta

¹ Las contenidas en el anejo I de la Ley 16/2002, de 1 de julio, de Prevención y Control Integrados de la Contaminación (IPPC).

² Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas.

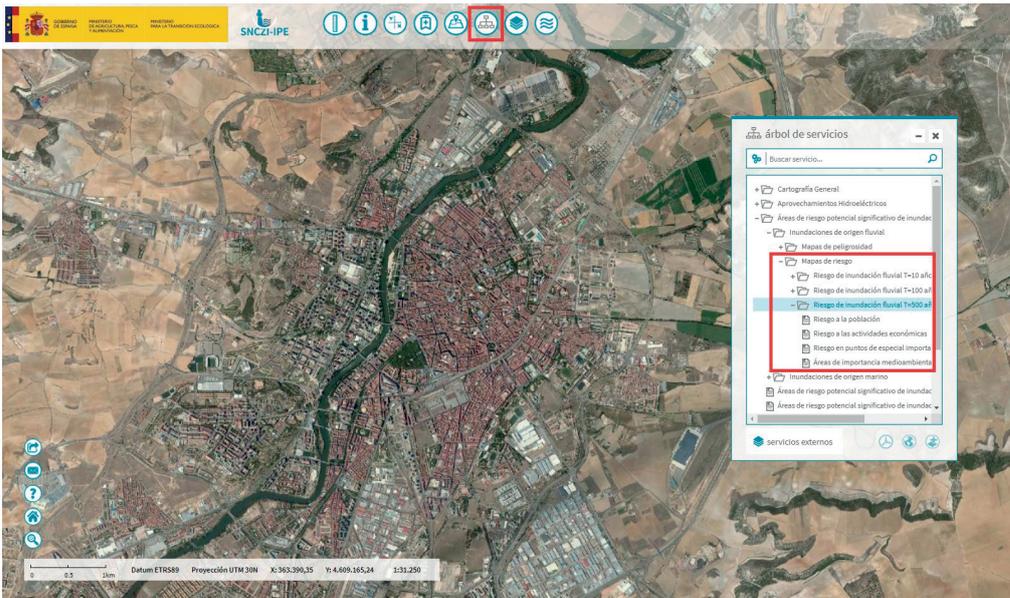


Figura 6. Consulta de los servicios de las capas de riesgo en el visor del SNCZI.

2.2. Clasificación del daño

De manera general, los daños por inundación pueden clasificarse de acuerdo al siguiente diagrama:

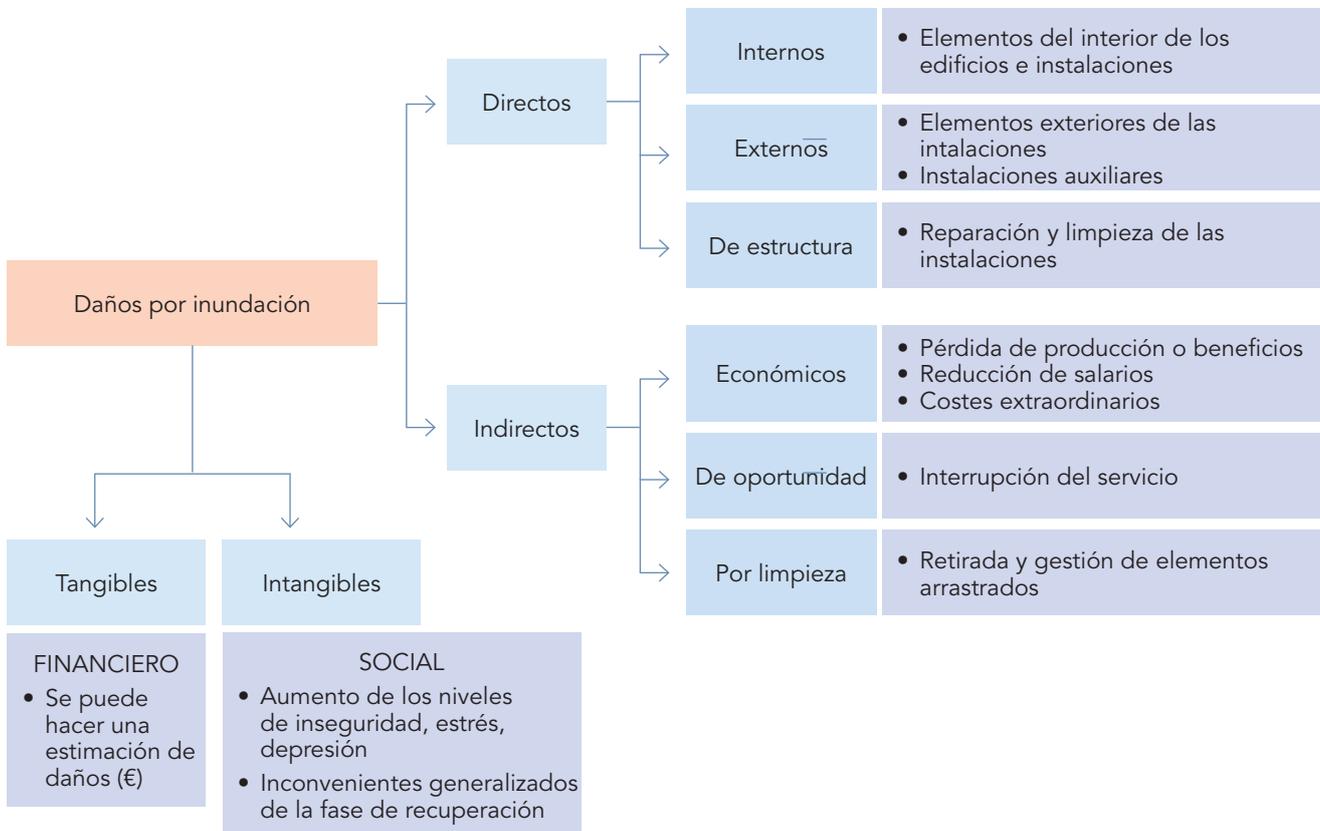


Figura 7. Tipos de daños por inundación.

A continuación, se incluye una descripción de los mismos.

2.2.1. Daños directos

Son aquellos que se producen durante un episodio de inundación inmediatamente derivados del contacto de los objetos con el agua y que pueden ser cuantificados, tales como daños a personas, animales, edificios, infraestructuras, cultivos, etc.

A su vez, se pueden diferenciar en:

- **Daños tangibles:** que se pueden medir y valorar de forma relativamente precisa (daños en vehículos, edificaciones, cultivos, etc.) y de forma cuantitativa.
- **Daños intangibles:** aquellos que no se pueden valorar cuantitativamente, por ejemplo, los daños sufridos por las personas (heridos, fallecidos, evacuados).



Figura 8. Daños directos intangibles: evacuados.

2.2.2. Daños indirectos

Son aquellos que se producen tras un episodio de inundación derivados de los daños directos, en escalas temporales mayores que éstos e, incluso, en zonas o ubicaciones que no se han visto afectadas por la inundación, como, por ejemplo, las pérdidas económicas debidas a la interrupción de los transportes por afecciones a vías de comunicación, los costes de evacuación, etc.

A su vez, estos daños se pueden distinguir en:

- **Daños tangibles:** que se pueden estimar o incluso, en determinadas situaciones, cuantificar, como, por ejemplo, las pérdidas ocasionadas por el corte de una carretera a una empresa que no ha podido suministrar determinada materia prima a una industria.



Figura 9. Ejemplo de daños tangibles por inundación.

- **Daños intangibles:** aquellos que no se pueden valorar cuantitativamente, por ejemplo, los daños psicológicos o económicos sufridos por las personas o familiares de los afectados directamente por la inundación.

2.3. Tipos de daños por inundación en los sistemas urbanos

A continuación, se categorizan los daños por inundación más habituales que se producen en los sistemas urbanos, en función de la afección que producen.

2.3.1. Daños directos a la propia red o infraestructura

Son los daños que sufre la propia infraestructura al incidir sobre ella la inundación, ya sean de deterioro material o pérdida temporal de su funcionalidad.

Estos daños son efecto del contacto del agua con los elementos de la infraestructura (por ejemplo, disminución de la compacidad y capacidad de soporte de terraplenes), a los que pueden añadirse los debidos por efecto dinámico de la corriente (por ejemplo, erosiones), e incluso por elementos arrastrados (por ejemplo, atoramiento de ojos de puentes por troncos y otros elementos arrastrados por la riada).

2.3.2. Daños directos a terceros por incremento del riesgo de inundación

Estos daños no se refieren a los sufridos por la propia infraestructura, sino a los que ésta induce sobre otros elementos. En particular, el efecto dique o barrera que las infraestructuras pueden tener sobre las aguas, conteniéndolas o desviándolas, alterando así la mancha de inundación o las condiciones de la misma (calados, velocidades), y por tanto cambiando los bienes afectados y/o sus daños respecto a la situación que se daría en ausencia de la infraestructura.



Figura 10. Efecto barrera durante la avenida del río Azuer (2010).

2.3.3. Daños indirectos a terceros por la merma del servicio

Son daños indirectos, ya que no los produce la propia inundación, a consecuencia de la pérdida de operatividad de las instalaciones y supresión de los servicios que albergan, con especial trascendencia aquellos directamente implicados en la atención de las emergencias por inundación (entre otras).

En este tipo de daños se incluyen aquellos elementos singulares que causan un daño indirecto, no por el servicio que ellos mismos prestan, sino porque su atención supone una merma de la capacidad de los equipos de emergencias por las necesidades especiales de evacuación de los ocupantes que albergan, como es el caso de los centros de mayores o discapacitados, y centros penitenciarios.

2.3.4. Daños indirectos en cascada

Igualmente, y de gran importancia en el entorno urbano, es necesario tener en cuenta los **daños indirectos en cascada** o **por efecto dominó** que pueden causar las inundaciones.

Por ejemplo, una inundación que anegase únicamente el sistema de abastecimiento de un municipio tendría un efecto indirecto enorme en la vida de la ciudad, sin afectar a ninguna de las viviendas de la misma. Igualmente podrían darse afecciones a las redes eléctricas, de telecomunicaciones, tratamientos de residuos, etc.

Por otro lado, una afección por inundación a una industria cercana que produjese un vertido peligroso para el agua o la atmósfera podría poner en riesgo a la población o el medio ambiente, sin que la población se vea inundada.

Es por esto que, en muchas ocasiones, los daños indirectos se extienden incluso a localidades en las que no se han llegado a producir daños directos por la inundación, y afectan a un número muy superior de habitantes.

BLOQUE 3. EFECTOS DE LAS INUNDACIONES EN LOS SISTEMAS URBANOS

En el presente apartado se exponen los elementos, equipamientos, bienes, redes y otras infraestructuras que, al menos, deberían considerarse para evaluar el impacto de una inundación en una población. Se considera que son infraestructuras básicas, especialmente críticas en las situaciones de emergencia, y que deben protegerse para evitar la pérdida o interrupción de servicios esenciales para la sociedad.

A continuación, se proporciona una pequeña descripción de cada uno, indicando la labor que desempeñan desde el punto de vista de la gestión de los riesgos de inundación y los daños más comunes que se producen durante estos eventos.

3.1. Red de telecomunicaciones

La red de telecomunicaciones es una de las de mayor importancia dentro del sistema urbano durante un episodio de inundación dado que es esencial para la coordinación de las labores de rescate de los servicios de emergencias y la comunicación de afectados con éstos. Es fundamental que esta red se encuentre operativa, tanto durante la inundación como en la etapa de recuperación posterior.

En este contexto, las redes de telecomunicaciones sensibles a los daños por inundaciones y objeto de esta guía es la de telefonía fija y, por extensión, la telefonía móvil, incluyendo la de transmisión de datos (Internet), puesto que ésta utiliza la red fija para la transmisión de la información.

Elementos

Los elementos principales de esta red son:

- **Centrales telefónicas de conmutación:** encargadas de establecer las llamadas telefónicas entre los terminales telefónicos conectados directamente a ellas y de la interconexión con las demás redes adyacentes.
- **Cableado:** es el sistema de cables de cobre o fibra óptica que se encargan de conducir las comunicaciones y, de manera complementaria, los elementos de apoyo a los cables, como torres, postes y resto de elementos de transporte, así como sus sistemas de protección y señalización. La interconexión de la red con el exterior se realiza mediante cableado de fibra óptica o mediante radioenlaces cuando no es posible la instalación de éste.
- **Elementos auxiliares:** encargados de la conexión entre las distintas centrales telefónicas, si las hubiera, así como con el resto de las redes telefónicas adyacentes o complementarias:
 - Centralitas telefónicas (generalmente armarios telefónicos) que dan servicio desde las centrales a docenas o cientos de líneas mediante el cableado que los conecta.
 - Terminales de dispersión conectados a las centralitas telefónicas, generalmente instalados en postes telefónicos o en las fachadas de los edificios, son las encargadas de conectar de manera individual a cada usuario a la red.
 - Estaciones de telefonía móvil que prestan servicio a los usuarios de dispositivos móviles permitiendo la interconexión entre éstos y las centrales telefónicas.



Figura 11. Ejemplo de elementos de la red de telecomunicaciones: radioenlace.

Daños

Los mayores daños vendrán derivados por la acción directa del agua sobre los elementos de la red, en especial, en las centrales telefónicas, que podrían llegar a inutilizar las telecomunicaciones de la totalidad del sistema urbano. Por su parte, los daños en las centralitas telefónicas o el sistema de cableado, podrían traducirse en la pérdida parcial de las comunicaciones.

Estas situaciones pueden acarrear graves consecuencias para las labores de rescate y servicios de emergencia e impedir la comunicación con los afectados por una inundación.



Figura 12. Ejemplo de daños sobre poste de madera.

Por otra parte, las caídas de postes de teléfono instalados en zonas inundables por el empuje del agua o por encontrarse en mal estado de conservación, podrían acarrear otros daños adicionales a la pérdida del servicio, puesto que supone un riesgo directo para las personas por la caída y podría ocasionar daños sobre otras redes al caer sobre otros elementos sensibles. Además, pueden verse interrumpidos otros servicios, como ocurriría en el caso de un poste caído sobre una carretera, impidiendo el tránsito.

En este sentido, el material antiguamente empleado en la fabricación de los postes era madera, resultando más vulnerable. Actualmente se ha sustituido por hormigón.

Por último, la inundación de las arquetas donde se alojan los centros de conmutación pueden sufrir daños de gran importancia. Los cables de cobre son sensibles a la humedad, mientras que los cables de fibra óptica lo son a las tensiones mecánicas (doblamiento).

El hecho de que estas arquetas queden inundadas supone un grave riesgo para las personas, habiéndose documentado ahogamientos por caídas dentro de ellas.

3.2.Red eléctrica

Esta red es la encargada de transportar la energía eléctrica desde las centrales eléctricas hasta los consumidores. Básicamente, está constituida por estaciones transformadoras (elevadoras o reductoras de tensión eléctrica), y las redes de cableado (transporte, reparto, distribución) que llevan la electricidad a distintas tensiones según su distancia a los centros de producción o consumo.

Como parte de la red de transporte, se integran los postes o apoyos eléctricos en los que se suspenden los cables. En algunas zonas urbanas, el cableado se encuentra soterrado y quedaría fuera del alcance de esta guía.

Las redes eléctricas se pueden clasificar según su tensión eléctrica (en corriente alterna):

- A.T.: alta tensión, tensión nominal superior a 1 kV.
- M.T.: media tensión, es un término que se emplea en la industria eléctrica para referirse a instalaciones con tensiones nominales entre 1 y 30 kV (el rango inferior dentro de lo que normativamente se considera alta tensión).
- B.T.: baja tensión, tensión nominal igual o inferior a 1 kV.

La energía se transporta desde los centros de generación hasta los consumidores a altas tensiones para minimizar las pérdidas. Una vez que la electricidad ha sido transportada hasta el sistema urbano, se reduce el voltaje en centros de transformación para hacerla apta para la multitud de usos a los que se destina.

Elementos

Por lo tanto, los elementos vulnerables al riesgo de inundación de la red son las centrales de generación, las subestaciones eléctricas y el cableado, incluyendo los elementos de sustentación.



Figura 14. Ejemplo de subestación eléctrica.

Daños

Las centrales eléctricas y estaciones transformadoras, a efectos de su protección contra inundaciones, son asimilables a la protección de edificios, a las que hay que evitar que llegue el agua. Más aún en el caso de instalaciones de baja tensión, asociadas al consumidor final y por tanto integradas en su instalación o edificio.

Las nuevas líneas eléctricas deberían estar diseñadas para prevenir los daños por inundación. Por lo tanto, los mayores daños vendrán derivados de las líneas de mayor antigüedad, ya existentes, que presenten problemas



Figura 13. Señalización de arqueta en Cervo (Lugo) por inundación (2010).

de adaptación, fundamentalmente porque sean elementos instalados en zonas inundables o se encuentren en mal estado de conservación.

Un ejemplo de estos casos puede verse después de numerosos episodios de avenida en los que elementos junto al cauce, generalmente postes eléctricos, acaban caídos por la fuerza del agua que los empuja o por el corrimiento de laderas. Por lo tanto, son especialmente sensibles los apoyos instalados en terrenos con fuerte pendiente.



Figura 15. Ejemplo de daños sobre la red eléctrica.

Se produce un riesgo directo para las personas por la caída de los postes eléctricos, no solo por la posibilidad de un impacto sino por el riesgo de electrocución, y para otros servicios al caer sobre elementos sensibles.

De manera secundaria, se puede generar un daño indirecto por el corte del suministro eléctrico. Este daño puede ser leve si afecta a usuarios no sensibles en cortos periodos de tiempo, pero podría ocasionar daños más graves si afecta a otros servicios, como puede ser la red sanitaria o de atención en emergencias, una industria que vea interrumpido su normal funcionamiento, etc. Por ello, las instalaciones más sensibles deberían contar con suministros eléctricos auxiliares autónomos.

Por último, pueden verse interrumpidos otros servicios, como ocurriría en el caso de un poste caído sobre una carretera, impidiendo el tránsito.

3.3. Red de suministro de gas e hidrocarburos

Son las redes de transporte de productos energéticos: gaseoductos (hidrocarburos gaseosos: gas natural), y oleoductos (hidrocarburos líquidos: petróleo y derivados).

Elementos

Estas redes transportan fluidos a través de tuberías desde los **centros de distribución** hasta el usuario final, ya sean productos energéticos, en estado gaseoso o líquido.

Además, existen otros elementos auxiliares: **estaciones de recepción y distribución, estaciones de bombeo y reducción de presión.**

El transporte se realiza a través de **tuberías**, que pueden tener tramos aéreos o subterráneos (estos últimos no necesitan adaptación), o **camiones.**

La red de distribución de hidrocarburos, por su parte, presenta una estructura similar a la red de distribución de gas, pero con algunas particularidades.

Como diferencia más notable, cabe destacar que el suministro a los usuarios se realiza, de forma general, a través de **estaciones de servicio** para pequeños consumidores, o a través de camiones para consumidores que cuentan con depósitos propios (como combustible, generación de electricidad, calefacción, agua caliente sanitaria, etc.), en lugar de contar con puntos de acceso directo a la red.

Daños

Los daños más notables sobre estas redes se producirían por la afección y puesta fuera de servicio de las centrales de distribución, puesto que privarían de suministro al resto de elementos. No obstante, la probabilidad de ocurrencia es baja dado que estos elementos suelen ubicarse fuera de las zonas inundables y deberían contar con elementos de protección desde la fase de diseño para evitar que el agua alcance a los equipos sensibles.

Por lo tanto, la afección más habitual en esta red es la relacionada con el cese de la actividad de las estaciones de servicio, siendo más frecuente su afección.

Adicionalmente, el corte de las carreteras puede negar el acceso a los camiones de suministro a los puntos de distribución (estaciones de servicio o consumidores finales), por lo que el servicio se vería afectado por daños indirectos.

De manera indirecta, la fuga de fluidos puede suponer un vertido accidental que acarree la contaminación del suelo, las aguas o la atmósfera, que se traducirá en un elevado coste de recuperación aguas abajo y un riesgo para las personas y los ecosistemas.



Figura 16. Ejemplo de tubería de distribución de gas.

3.4. Red de abastecimiento y saneamiento

Se componen de los elementos de captación y tratamiento de aguas (estaciones potabilizadoras, depuradoras, desaladoras), así como sus conducciones y elementos auxiliares (estaciones de bombeo, reductoras de presión) y de control. Además de las redes para poblaciones, podrían incluirse las redes de riego dentro de los aprovechamientos agrícolas y las depuradoras industriales.

Debido a la importancia de este suministro, es fundamental tener garantizado en todo momento el acceso a agua potable a la totalidad de la población, así como el saneamiento de las aguas residuales para evitar la proliferación de enfermedades.

Elementos

Los elementos que forman parte de esta red pueden clasificarse en:

- **Captaciones: que pueden ser** de orilla, ya sea con toma directa, en río de nivel de corriente apreciable, o toma en galería, cuando hay problemas de construcción en el terreno; por canal de derivación, para transportar el agua desde el punto de toma, de fondo, en ríos no navegables y con niveles bajos de agua; flotante o móvil, cuando las márgenes o fondo no permiten garantizar la seguridad estructural (por calidades de agua muy diferentes o grandes fluctuaciones del nivel de agua). Se incluyen también las captaciones de aguas subterráneas.
- **Depósitos y torres de regulación**, para almacenamiento o dar la presión de servicio requerida, incluyendo estanques, balsas de regulación y embalses.



Figura 17. Simulacro de vertido: ejemplo de barrera de contención de hidrocarburos.



Figura 18. Vertido accidental de hidrocarburos a un cauce superficial.

- **Estaciones de bombeo:** para impulsar el agua de una zona a otra.
- **Estaciones de tratamiento:** estaciones de potabilización, depuradoras de aguas residuales urbanas (EDAR) y de reutilización (ERAR). Se incluyen también las plantas desaladoras.
- **Estructura de transporte:** tuberías y colectores de distribución, abastecimiento y saneamiento, ya sean aéreas, subterráneas o aprovechando infraestructuras ajenas: obras de tierra, túneles y pasos superiores, puentes y pasos inferiores.

Daños

Los daños directos sobre los elementos de la red pueden suponer el corte del suministro del agua de abastecimiento, ya sea por la inutilización de las captaciones y plantas potabilizadoras, o por rotura de las canalizaciones.

La rotura de las estructuras de la red, en especial las de almacenamiento y las conducciones (incluso las subterráneas por erosión del suelo), puede agravar las consecuencias de la inundación o acarrear inundaciones secundarias.

Por otra parte, el refluo de las aguas sanitarias y pluviales puede ocasionar la inundación del interior de viviendas, pisos bajos de los edificios y vías públicas, así como problemas de contaminación y salubridad en los mismos.

El arrastre de sólidos en suspensión puede colmatarse las estructuras destinadas al almacenamiento de agua. Por otra parte, las captaciones superficiales pueden quedar inutilizadas por cambios en la morfología del cauce.

De forma indirecta, se puede producir la contaminación de las fuentes de agua potable:

- por arrastre de animales muertos, en especial, en las cercanías de las tomas;
- por aumento excesivo de la turbidez del agua;
- por arrastre de otro tipo de sustancias tóxicas o contaminantes;
- por aumento del nivel de inundación por encima de la altura del brocal de los pozos y se vierta directamente sobre ellos u otras captaciones;
- por mezcla del agua de saneamiento con agua potable.



Figura 19. Ejemplo de elementos de la red de abastecimiento y saneamiento: EDAR de San Pantaleón.



Figura 20. EDAR de Funes (Navarra) alcanzada por la avenida del río Arga (2018).

3.5. Redes de transporte

Se consideran los transportes por carretera y ferrocarril, dentro del sistema urbano o fuera de éste, incluyendo tanto las vías o viales, como las edificaciones asociadas. De manera adicional, podrían incluirse los transportes aéreos (aeropuertos y helipuertos) y marítimos.

Los sistemas de transporte presentan un alto valor económico y son de especial importancia debido a su utilización por los servicios de emergencia en caso de inundaciones.

Elementos

1. Ferrocarril

- Sus elementos son los relacionados con:
- **Estructura de la vía** (carriles, contracarriles, traviesas/placas, sujeciones, desvíos, cruzamientos, etc.).
- **Obras de tierras, túneles y pasos superiores, puentes y pasos inferiores.**
- **Edificaciones asociadas:** estaciones, centros de transferencia, talleres, etc.
- **Subestaciones de las instalaciones eléctricas.**
- **Elementos de señalización y seguridad, comunicaciones, líneas de la instalación eléctrica** (de transporte, acometida y contacto).

2. Carretera

Además de las propias **carreteras**, forman parte de esta red los llamados "elementos funcionales" según la Ley 37/2015 de Carreteras (incluidos en el dominio público de la carretera, para conservación o explotación del viario):

- **Traza de la carretera**, incluyendo el firme.
- **Obras de tierra, túneles y pasos superiores, puentes y pasos inferiores.**
- **Centros operativos** para la conservación y explotación de la carretera.
- **Elementos auxiliares:** estaciones y áreas de servicio, vías de servicio (éstas a nuestros efectos tratables como la propia traza de la carretera), zonas destinadas al descanso, zonas de estacionamiento, lechos de frenado, elementos de drenaje y sus accesos, estaciones de pesaje, paradas de autobuses, aparcamientos e instalaciones de mantenimiento de vialidad invernal.
- **Elementos de señalización y seguridad.**

Puesto que las carreteras son elementos de vital importancia para los servicios de emergencia, deben tenerse en cuenta no solo las vías de entidad, sino también las pistas o caminos secundarios que puedan servir de rutas de evacuación o como alternativas de tránsito en el caso de que se corten las vías principales.

Daños

Los daños principales que sufren estas redes por efecto de la inundación son daños directos que inutilizan completamente el servicio producido por diversos motivos de la interrupción, ya sea por lluvias in situ, por corte transversal de flujo de agua o por inundación masiva, e incluso si es por posibles deslizamientos originados por la lluvia. Las consecuencias que impiden el tránsito de los vehículos son:

- anegación de los elementos;
- bloqueo por corrimientos de tierra o arrastre de sólidos que se depositan sobre las vías de transporte;
- destrucción por descalce.

En esta situación, además del riesgo para la integridad de las personas, se producen consecuentemente daños indirectos por la interrupción del servicio prestado por las vías de comunicación, lo que genera severas pérdidas para la economía local y graves perjuicios a los servicios de emergencias para alcanzar las zonas de actuación.



Figura 21. Daños en red de ferrocarril en Agudulce (Sevilla) por inundación (2018).



Figura 22. Daños en paso artificial en Pueyo (Navarra) por inundación (2019).



Figura 23. Daños en carretera en Pueyo (Navarra) por inundación (2019).



Figura 24. Destrucción de carretera por inundación por las crecidas del río Ésera en el valle de Benasque (Huesca) (2014).

3.6. Red sanitaria y de atención en emergencias

Son redes y servicios de especial sensibilidad y vulnerabilidad y, en general, de vital importancia en situaciones de emergencia (en particular, en inundaciones), por lo que su funcionalidad, acceso y vías de evacuación deben preservarse para atender la emergencia.

Casos especiales son los hospitales y centros sanitarios, centros de atención a personas dependientes y centros penitenciarios, en los que, por motivos diferentes, lo primordial es permitir el acceso para la atención y, en su caso, evacuación de sus ocupantes, ya que ésta resulta más complicada que en otro tipo de edificios, principalmente, por las peculiaridades de sus usuarios: personas mayores, algunas de ellas enfermas, con dificultad para moverse o con incapacidad para trasladarse, bajo custodia, etc.

Elementos

- **Centros de mayores o personas con discapacidad.**
- **Hospitales.**
- **Centros de atención primaria, consultorios y ambulatorios.**
- **Servicios de emergencias y sus instalaciones:** fuerzas y cuerpos de seguridad del estado (policía nacional, autonómica, local, policía portuaria, guardia civil, agentes forestales), bomberos y protección civil.
- **Centros penitenciarios.**

Daños

Los daños directos que pueden causar las inundaciones sobre la red sanitaria pueden ser tangibles, afectando a la propia infraestructura física de las instalaciones, así como a los equipos médicos y material sanitario, o intangibles, causando un número inesperado de muertes, lesiones, trastornos psicológicos o incremento de las enfermedades transmisibles.



Figura 25. Gestión del servicio de brigadas de emergencia en Alcoy (2017) por inundación.

La merma del servicio puede provocar daños indirectos si se excede la capacidad de atención sanitaria y de emergencia, interrumpiendo las vías de acceso a los centros médicos, y ocasionando problemas de suministro o incluso desabasteciendo de medicamentos por aumento de la demanda.

Al generarse una mayor demanda de servicios, superior a lo normal, puede ser necesario el traslado de pacientes, personas dependientes o presos desde las zonas afectadas a otras áreas y que no se cuente con la capacidad suficiente para asistir a la nueva población, aumentando el riesgo potencial de transmisión de enfermedades contagiosas.

Además, el uso de técnicas científicas cada vez más avanzadas en los centros hospitalarios, hace que se generen una gran cantidad de residuos sanitarios, tóxicos y peligrosos, cuya gestión y transporte puede verse afectado, si son alcanzados y arrastrados en caso de inundación, con el consiguiente riesgo para la salud pública y el medio ambiente.

Por otro lado, la habilitación de pabellones municipales u otras instalaciones como refugios de socorro o campamentos provisionales, facilita el brote y contagio de enfermedades.

3.7. Red de servicios

Los elementos de interés que conforman esta red son aquellos que pueden albergar en un momento dado a un elevado número de personas (o animales), por lo que, en caso de inundación, estas aglomeraciones suponen un alto riesgo para su seguridad y las labores de evacuación son más complejas.

Elementos

A continuación, se incluyen, a modo de ejemplo, las instalaciones que podrían formar parte de esta red:

- **Centros educativos.**
- **Superficies comerciales.**
- **Acampadas, zonas de alojamientos y edificios** vinculados en los **campings.**

- Granjas, criaderos de animales, centros de acogida de fauna.
- Centros deportivos.
- Edificaciones de carácter religioso y cementerios.
- Patrimonio cultural.
- Actividades recreativas.
- Parkings públicos.

Algunos de estos elementos, como los centros educativos, centros deportivos o zonas de estacionamiento, son de interés para los servicios de atención de emergencias para alojar a las personas evacuadas o instalar centros de atención primaria o de coordinación.

Daños

Además de las pérdidas económicas producidas por los daños directos sobre las instalaciones, el daño de mayor importancia que se puede producir por la afección de estos elementos es el directo intangible producido por la pérdida de vidas humanas.

En el caso de producirse la muerte de animales, se podría realizar una valoración económica por su pérdida (daño tangible).



Figura 26. Granja afectada por inundación.

De manera secundaria, la afección a estos elementos supone un daño indirecto por la pérdida del servicio, lo que redundaría en el funcionamiento normal del sistema urbano.

Como se ha mencionado anteriormente, los daños por pérdidas del servicio son más graves cuando se producen sobre instalaciones que podrían ser empleadas por los servicios de atención en emergencias para la instalación de centros de apoyo o para alojar a los afectados por las inundaciones (pabellones deportivos, centros educativos, etc.).

Sector industrial

El sector industrial es un importante motor económico del sistema urbano al generar riqueza tanto por los bienes producidos como por los puestos de trabajo asociados que suelen cubrirse con la población local.

Elementos

- **Polígonos industriales** y otras zonas industriales asociadas.
- **Instalaciones con productos** que puedan resultar **perjudiciales** para la **salud humana** y el **medio ambiente**.

Daños

A efectos de esta guía, se propone valorar tanto las pérdidas económicas sufridas por las industrias en sus instalaciones o por el lucro cesante, como por los daños indirectos que podrían producirse por la contaminación que supondría el vertido de sustancias perjudiciales para la salud pública y el medio ambiente.

En el caso de las propias instalaciones, se producen daños físicos al edificio, su estructura y contenido (maquinaria), así como pérdidas de materias primas y stock. Para estos casos, las empresas son las responsables de la protección y adaptación de sus instalaciones y suelen tener contratados seguros privados que se hacen cargo de las pérdidas económicas derivadas, por lo que queda fuera del alcance de esta guía el estudio individualizado de cada industria.

Sin embargo, de forma indirecta, podría producir un aumento del precio de mercado y suponer el despido de trabajadores.

Para el segundo de los casos, relacionado con la contaminación secundaria producida por la afección de estas instalaciones, resulta de mayor complejidad su control y valoración de los daños producidos. En el caso de afección de estas instalaciones por una inundación, gran cantidad de sólidos pueden ser arrastrados por las aguas (como materias primas o productos almacenados en campas), con el riesgo de producir daños a la salud pública y el medio ambiente aguas abajo por un vertido al medio sustancias contaminantes.



Figura 27. Zona industrial en Daimiel (Ciudad Real) alcanzada por la avenida del río Azuer (2010).

En este sentido, resultan especialmente vulnerables las instalaciones destinadas al almacenamiento y tratamiento de residuos, con gran cantidad de elementos sólidos que podrían ser fácilmente arrastrados por el agua, y las estaciones depuradoras de aguas residuales, que podrían provocar el vertido de aguas residuales sin tratar o lodos del tratamiento a los cauces.

Ciertas industrias generan residuos peligrosos que, en estado líquido, se pueden almacenar en balsas. La rotura o desbordamiento de estas balsas por las lluvias podrían producir casos graves de contaminación.

BLOQUE 4. ESTRATEGIAS DE ADAPTACIÓN E INCREMENTO DE LA RESILIENCIA FRENTE AL RIESGO DE INUNDACIÓN

Una vez que se ha realizado la identificación de los daños previsibles que las redes urbanas pueden sufrir en caso de inundación, hay que tratar de minimizar sus consecuencias y mantener operativo el servicio que éstas suministran, en la medida de lo posible.

Para ello, será necesario definir una **estrategia de adaptación** para mejorar la resiliencia del conjunto de la red, aumentando el nivel de protección de los elementos y de la red en su conjunto, reduciendo su vulnerabilidad y acelerando su recuperación.

No obstante, debe tenerse en cuenta que para algunas de las redes objeto de análisis puede existir legislación específica que obligue a la protección de sus elementos frente al riesgo de inundación e incluso a la adaptación completa de la red desde la fase de diseño, por lo que podría no ser necesario desarrollar estrategias adicionales si los daños ya están controlados.

En las referencias se ofrece una relación no exhaustiva de normativa específica de aplicación para algunas de las redes, que debería garantizar la minimización de los daños por inundación a sus elementos. Su estudio detallado queda fuera del alcance de esta guía.

En el presente apartado se hace una proposición de posibles estrategias a desarrollar para la adaptación de los elementos objeto de esta guía frente al riesgo de inundación, aumentando la resiliencia de las redes urbanas. No se tienen en cuenta las medidas de construcción de defensas contra inundaciones.

4.1. Adaptación de los elementos

Las estrategias de adaptación de los elementos pueden ser muy distintas según las características de cada uno de ellos.

A continuación, se ofrece un breve resumen de métodos de mitigación de daños en elementos puntuales de una red.

En el apéndice 1 se ha incluido un ejemplo real de estrategia de adaptación aplicada sobre un elemento crítico de una red.

4.1.1 Mitigación de daños en edificios

Muchos de los elementos de las redes son edificios e instalaciones cuyas estrategias de adaptación no son muy distintas a las que se pueden emplear para la mejora de la resiliencia de los edificios. Estas estrategias han sido desarrolladas y detalladas en la Guía de Edificios.

A partir de lo indicado en ella, se establecen cuatro tipos de acciones que reducen la vulnerabilidad de un elemento ya construido:

1. **EVITAR** que el agua alcance al elemento.
2. **RESISTIR** la afección que el agua ocasione al elemento, una vez que lo ha alcanzado.
3. **TOLERAR** que el agua alcance al elemento, pero adaptándolo para que el daño y el tiempo de recuperación sean lo más reducidos posibles.
4. **RETIRAR** el elemento fuera de la zona inundable en los casos en los que el riesgo es demasiado elevado.



Figura 28. Tipos de acciones para reducir la vulnerabilidad de un edificio.

Cuando las características del elemento a adaptar son compatibles con el **catálogo de medidas** ofrecidas en esta publicación, debe atenderse a lo indicado en la misma.

En la siguiente tabla se resumen las medidas y se muestran ejemplos de las mismas.

EVITAR	Diques, muros estancos y barreras permanentes
	Terraplenes y movimientos de tierra integrados en el paisaje
	Barreras anti-inundación temporales
RESISTIR	<ul style="list-style-type: none"> • Impermeabilización • Protección de puertas y ventanas • Válvulas antirretorno
TOLERAR	<ul style="list-style-type: none"> • Materiales resistentes al agua • Drenaje en planta baja o sótano • Sistema de alimentación ininterrumpida • Bombas de achique • Grupo electrógeno • Equipo de radio • Adaptar equipamientos y servicio • Plan de autoprotección
RETIRAR	<ul style="list-style-type: none"> • Abandonar/demoler y construir nuevo • Trasladar • Soterrar

Tabla 1. Métodos de mitigación de los daños en edificaciones existentes. Fuente: Adaptación de Guía para la reducción de la vulnerabilidad de los edificios frente a inundaciones. CCS, 2017.

4.1.2. Mitigación de daños en equipamientos y servicios

En la guía de edificios también se describen métodos específicos para la mitigación de daños en equipamientos y servicios, como parte de los métodos de "tolerar". En este caso, se dividen en:

1. **ELEVAR**, es decir, subir el equipamiento por encima del nivel de protección.
2. **REUBICAR**, que consiste en modificar el emplazamiento, generalmente a una planta superior.
3. **PROTEGER**, manteniendo la ubicación del equipamiento, pero tomando las medidas necesarias para limitar el daño y reducir el tiempo para la vuelta a la normalidad.



Figura 29. Acciones para reducir la vulnerabilidad de equipamientos y servicios.

4.1.3. Autoprotección

Merecen mención especial las medidas de autoprotección de los centros, en especial los obligados por la **Norma Básica de Autoprotección**¹, que "establece la obligación de elaborar, implantar materialmente y mantener operativos los Planes de Autoprotección y determina el contenido mínimo que deben incorporar estos planes en aquellas actividades, centros, establecimientos, espacios, instalaciones y dependencias que, potencialmente, pueden generar o resultar afectadas por situaciones de emergencia".

La Norma define como autoprotección "al sistema de acciones y medidas encaminadas a prevenir y controlar los riesgos sobre las personas y los bienes, a dar respuesta adecuada a las posibles situaciones de emergencia y a garantizar la integración de estas actuaciones con el sistema público de protección civil".

"Incide no sólo en las actuaciones ante dichas situaciones, sino también y con carácter previo, en el análisis y evaluación de los riesgos, en la adopción de medidas preventivas y de control de los riesgos, así como en la integración de las actuaciones en emergencia, en los correspondientes Planes de Emergencia de Protección Civil".

En el anexo I del RD 393/2007 se indican las actividades sobre las que se aplica la Norma Básica de Autoprotección, "no obstante, las Administraciones Públicas competentes podrán exigir la elaboración e implantación de planes de autoprotección a los titulares de actividades no incluidas en el anexo I, cuando presenten un especial riesgo o vulnerabilidad", por lo que debe atenderse a legislación complementaria.

De forma resumida, éstas son²:

- a) Actividades industriales, de almacenamiento y de investigación.
- b) Actividades e infraestructuras de transporte.
- c) Actividades e infraestructuras energéticas.
- d) Actividades sanitarias.
- e) Actividades docentes.
- f) Actividades residenciales públicas.
- g) Actividades de espectáculos públicos y recreativas.
- h) Otras actividades reguladas por normativa sectorial de autoprotección.
- i) Otras actividades (que reúnan a un gran número de personas o sean difíciles de evacuar).

Los órganos competentes en materia de Protección Civil en el ámbito local, autonómico o estatal están facultados a **exigir la presentación e implantación del Plan de Autoprotección** incluso a actividades que consideren **peligrosas** (por sí mismas o **por hallarse en entornos de riesgo**), aunque no sea una de las incluidas en el anexo I, que deberán ser inscritos en el registro administrativo designado para tal fin.

Por lo tanto, debe velarse porque las instalaciones inventariadas con riesgo de inundación tengan elaborado e implantado su propio Plan de Autoprotección.

La Dirección General de Protección Civil y Emergencias ha publicado una "**Guía técnica de elaboración de un plan de autoprotección**", así como guías didácticas para su aplicación, y sobre el riesgo de inundaciones en particular.

¹ Real Decreto 393/2007, de 23 de marzo, por el que se aprueba la Norma Básica de Autoprotección de los centros, establecimientos y dependencias dedicados a actividades que puedan dar origen a situaciones de emergencia.

² Consultar anexo I y II de la Norma Básica de Autoprotección para más detalle.



Figura 30. Guía técnica de elaboración de un plan de autoprotección, Guía de autoprotección en centros escolares y Guía del riesgo de inundación para profesores.

4.1.4. Adaptación de elementos lineales

Otros elementos, sin embargo, presentan particularidades que pueden requerir de una mayor complejidad en su adaptación, como puede ser el caso de las estructuras lineales, como carreteras, vías o canalizaciones, que debido a su longitud resulta difícil la protección completa.

En estos casos, la herramienta principal para la adaptación de estos elementos lineales es el drenaje, de manera que permita no sólo que el elemento no se vea afectado por una inundación, sino para que evite el efecto barrera que pueda provocar, afectando a otros elementos.

El diseño de los drenajes es responsabilidad de los organismos competentes de su construcción, explotación y mantenimiento.

En el caso de las carreteras, hay que referirse a dos documentos:

- [5.2-IC drenaje superficial](#)³
- [Recomendaciones para el proyecto y construcción del drenaje subterráneo en obras de carretera](#)⁴

En el caso de las líneas de ferrocarril, los conceptos a aplicar respecto al drenaje superficial son los mismos.

En este caso, debe acudir a la norma [NAP 1-2-0.3 Norma ADIF plataforma. Climatología, hidrología y drenaje](#), 1ª edición de julio de 2015 (en especial lo referido en el artículo 4.2).

³ Aprobada por la Orden FOM/298/2016, de 15 de febrero por la que se aprueba la norma 5.2 - IC drenaje superficial de la Instrucción de Carreteras.

⁴ Orden Circular 17/2003

Aunque el drenaje de estas estructuras viene calculado desde la fase de diseño y construcción, deben realizarse las siguientes actividades adicionales:

- Supervisión del correcto dimensionamiento de las estructuras.
- Adaptación de infraestructuras antiguas, sin el correspondiente y adecuado diseño de cunetas y drenajes.
- Mantenimiento de las infraestructuras.
- Vigilancia de que las obras de nueva construcción no alteren el drenaje de las ya existentes.

Otra posible consecuencia del efecto barrera que ejercen estas infraestructuras es un aumento de la velocidad y, por lo tanto, la erosión, pudiendo producirse la destrucción de la misma.

En este caso, se pueden restaurar los taludes y protegerlos mediante escolleras o proyectos de revegetación y estabilización.



Figura 31. Ejemplo de erosión (izquierda) y obras de restauración y protección (derecha) en el margen del río Alhama en Alfaro (La Rioja) (pozos al fondo de la imagen).

4.2. Adaptación de la red

La adaptación más importante sobre la propia red es garantizar la funcionalidad en su conjunto, aunque uno o varios de sus componentes resulten afectados. Estas adaptaciones irán encaminadas a preservar el funcionamiento de los elementos críticos.

Se pueden entender bien como provisionales para atender la propia emergencia de la inundación, bien con carácter estable para adaptar los sistemas urbanos a eventuales eventos de inundación.

4.2.1. Infraestructuras redundantes

Se trata de que el sistema tenga elementos duplicados, de manera que la pérdida de funcionalidad en una parte, pueda ser suplida por otra parte del sistema con capacidad de servicio suficiente durante los episodios de inundación.

De forma temporal, se pueden establecer **variantes**, siendo instalaciones o trazados alternativos que eviten la zona inundada, como soluciones provisionales en una emergencia de inundación. El ejemplo más claro es el relacionado con una carretera que resulte cortada al tráfico por quedar anegada, pero que la comunicación pueda mantenerse por otra vía, aunque suponga una ruta más larga o de peor acceso.

4.2.2. Servicios o redes alternativos

Se trata de proveer el mismo servicio o uno equivalente que el sistema afectado.

Por ejemplo:

- Establecer un servicio por carretera alternativo a una vía de ferrocarril interrumpida por la inundación.
- Un hospital que, sin verse directamente afectado, quedase inoperativo por el fallo del servicio de suministro eléctrico de no contar con grupos electrógenos propios.
- La afección de una estación potabilizadora cuya falta de servicio se suple con el suministro de agua embotellada.

Es importante en este caso realizar una **planificación de servicios alternativos**, identificando aquellos que pueden verse interrumpidos y la forma en la que se van a suplir. La instalación de grupos electrógenos, establecimiento de puntos de avituallamiento o almacenes de materiales y equipos suponen medidas en esta línea.

4.2.3. Rediseño o cambio de trazado de la infraestructura

Como última opción puede plantearse el rediseño de la red o cambio en el trazado de las infraestructuras que la conforman, evitando las zonas susceptibles de ser inundadas.

Puesto que se trata de una estrategia de gran esfuerzo y coste, requiere de un estudio de detalle de sus repercusiones.

Además, los avances tecnológicos permiten soluciones novedosas, por lo que debe realizarse una consulta sobre posibles diseños adaptativos. A modo de ejemplo, se ofrecen soluciones novedosas a partir del rediseño de las redes mediante la instalación de elementos flotantes para caminos peatonales, carreteras e instalaciones de emergencias, que permitan su funcionamiento en inundaciones de larga duración y garanticen el servicio.

En la mayoría de los casos, las soluciones adaptativas no son de tal complejidad y, en general, el diseño o retranqueo de las redes fuera de las zonas inundables suele ser la solución más sencilla, aunque no siempre la menos costosa.

Puesto que existe un amplio abanico de posibilidades adaptativas, debe valorarse cada problema de manera particular.

4.2.4. Recuperación del servicio

Cuando las estrategias de adaptación no han sido suficientemente eficaces para evitar prevenir la pérdida del servicio, debe procederse a su recuperación lo antes posible.

Por ello, es importante estar preparados ante estas eventualidades, contando con los medios necesarios para ello, ya sea propios de los gestores o ajenos.

En este sentido, es necesario contar con un **listado de los responsables de cada instalación** para su contacto en caso de emergencia, así como una **relación de empresas locales** capaces de realizar las actuaciones para la recuperación del servicio, ya sea fontanería, electricidad, desescombro, etc.

BLOQUE 5. PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA EVALUACIÓN DE LA RESILIENCIA FRENTE A LA INUNDACION

En el presente apartado se describe la metodología propuesta para realizar una primera evaluación de la resiliencia de un sistema urbano frente al riesgo de inundaciones.

Una vez realizado el inventario de elementos existentes en el sistema urbano, deberán identificarse aquellos con probabilidad de resultar afectado por una inundación, proceder a la evaluación de sus daños y determinar minimizarlos para aumentar así la resiliencia de la ciudad en su conjunto.

Por lo tanto, esta propuesta se articula en varias etapas diferenciadas:

- Realización del inventario de los elementos existentes en el sistema urbano.
- Identificación de los elementos del inventario que presentan con riesgo de afección por una inundación.
- Evaluación de los daños directos e indirectos derivados de la afección de cada uno de los elementos y daños producidos al conjunto de la red.
- Identificación de los elementos críticos en las redes del sistema urbano.
- Propuesta de actuaciones para la minimización de los daños, aumentando así la resiliencia global del sistema urbano.

A estas etapas se añaden las de ejecución y revisión, formando un ciclo de mejora continua.



Figura 32. Fases de la evaluación de la resiliencia urbana al riesgo de inundación.

A continuación, se desarrolla cada una de estas etapas, para facilitar la labor de la evaluación.

Un ejemplo de este procedimiento al completo se ha incluido en el apéndice 3.

5.1. Inventario de elementos existentes en el sistema urbano

En primer lugar, deben identificarse todos los elementos de las redes descritas en esta Guía, obteniendo un inventario de los mismos.

Se presenta una tabla resumen de dichos elementos para facilitar la identificación de los mismos:

SISTEMA URBANO	ELEMENTOS
RED DE TELECOMUNICACIONES	Estaciones de emisión
	Antenas, repetidores
	Tendidos aéreos
RED ELECTRICA	Centrales energéticas
	Estaciones transformadoras
	Tendidos aéreos
	Tendidos subterráneos
RED DE SUMINISTRO DE GAS	Estaciones de recepción y distribución
	Estaciones de bombeo o reducción de presión
RED ABASTECIMIENTO Y SANEAMIENTO	Captaciones superficiales
	Captaciones subterráneas
	Depósitos
	Conducciones de agua potable
	Estaciones de tratamiento de aguas potables
	Colectores de aguas residuales
	Estaciones depuradoras de aguas residuales
REDES DE TRANSPORTE	Carreteras de acceso al núcleo de población
	Vías de ferrocarril de acceso al núcleo de población
	Gasolineras y otras instalaciones asociadas
	Estaciones e intercambiadores de transporte
	Calles y vías principales de comunicación dentro del núcleo de población
	Vías de ferrocarril de cercanías o de transporte dentro del núcleo de población
	Aeropuertos y aeródromos
	Puertos
RED SANITARIA Y DE ATENCIÓN EN EMERGENCIAS	Centros de mayores o personas con discapacidad
	Hospitales
	Centros sanitarios ambulatorios
	Servicios de emergencias: bomberos y protección civil
	Instalaciones de las fuerzas y cuerpos de seguridad
RED DE SERVICIOS	Centros penitenciarios
	Centros educativos
	Superficies comerciales
	Acampadas, zonas de alojamiento y edificios vinculados en los campings
	Granjas, criaderos de animales, centros de acogida de fauna
	Centros deportivos
	Edificaciones de carácter religioso y cementerios
	Patrimonio cultural
Actividades recreativas	
SECTOR INDUSTRIAL	Aparcamientos
	Polígonos industriales y otras zonas industriales asociadas
	Instalaciones de gestión de residuos
	Instalaciones con productos que puedan resultar perjudiciales para la salud humana

Tabla 2. Elementos a identificar en el inventario

La identificación de elementos puede apoyarse en consultas cartográficas mediante herramientas cartográficas como los Sistemas de Información Geográfica (SIG) o gracias a distintos visores cartográficos ofrecidos por las administraciones competentes.

Debe tenerse en cuenta que pueden existir elementos críticos fuera del tejido urbano, por lo que pueden ser difíciles de identificar, pero que siguen formando parte del sistema. Por ejemplo, una planta potabilizadora ubicada en otra localidad que dé servicio a la población de estudio.

Una relación de fuentes cartográficas para la consulta e identificación de estos elementos se incluye en el apéndice 2.

5.2. Identificación de los elementos del inventario con riesgo

Una vez inventariados los elementos que conforman las redes en el sistema urbano objeto de estudio, éstos deben clasificarse por su **peligrosidad**, es decir, identificar si podrían resultar afectados en caso de inundación.

En este sentido, ya se comentó la importancia de conocer el riesgo de inundación en una zona, en concreto, en el apartado 2.1. *¿Cómo conocer el riesgo de inundación de una zona concreta?*, empleando estudios y fuentes documentales ya existentes.

A través del visor del SNCZI se pueden localizar los elementos ubicados en zona inundable de acuerdo a los periodos de retorno de 10, 50, 100 y 500 años, siempre que existe estudio de inundabilidad con zonificación de inundabilidad para los cauces de interés.

Es conveniente **identificar para cada elemento el mecanismo por el que se produce la inundación**, ya sea por causa de lluvias in situ, desbordamiento de un cauce, marea, oleaje, etc., puesto que facilitará la labor posterior de estimar los daños y proponer medidas de adaptación. De igual manera, es conveniente realizar un diagnóstico del estado de conservación y grado de adaptación de cada elemento.

5.3. Identificación de los elementos críticos en las redes del sistema urbano

Una vez realizada la valoración de daños se podrán identificar aquellos **elementos críticos** que, por su especial valor funcional, su inoperatividad puede poner en peligro la operatividad parcial o completa de la red, o que resultan de especial importancia para las labores de los servicios de emergencia, por lo que es necesario garantizar su funcionamiento.

Habitualmente, los elementos críticos del sistema urbano son nodos de las redes, de los que dependen el resto de elementos. Por ejemplo, una subestación eléctrica es un elemento crítico de la red eléctrica y un hospital es un elemento crítico de la red sanitaria.

Garantizar la operatividad de estos elementos durante todo el episodio es fundamental para la correcta gestión de la emergencia, permitir el desarrollo de la actividad normal de los habitantes y acelera la recuperación de los daños.

El proyecto **FloodProBE** ofrece una identificación de los aspectos que deben tener estar garantizados durante la inundación para la correcta funcionalidad de los elementos críticos. Estos aspectos han sido recogidos en una tabla, que se muestra a continuación.

EVALUACIÓN DE LA RESILIENCIA DE LOS NÚCLEOS URBANOS FRENTE AL RIESGO DE INUNDACIÓN:
Redes, sistemas urbanos y otras infraestructuras

	Suministros para producción	Acceso de trabajadores	Abastecimiento y saneamiento	Suministro eléctrico	Suministro de alimentos	Protección frente a inundaciones	Recogida de residuos	Climatización	Conectividad con otras redes (transporte, comunicaciones)
Tratamiento de aguas	✓	✓	✓	✓		✓	✓		
Tratamiento de aguas residuales	✓	✓	✓	✓		✓	✓		✓
Subestaciones eléctricas		✓		✓		✓			✓
Otras fuentes de energía	✓	✓		✓		✓			
Hospitales	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Estaciones de bomberos		✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
Estaciones de policía		✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
Comunicaciones		✓		✓		✓		✓	
Distribución de alimentos	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Centros financieros	✓	✓		✓	✓				
Aeropuertos	✓	✓		✓	✓				
Estaciones de autobuses	✓	✓			✓				✓
Estaciones de trenes		✓		✓	✓				✓
Estaciones de metro		✓		✓	✓			✓	✓

Tabla 3. Requerimientos de los edificios críticos. Fuente: Technologies for Flood Protection of the Built Environment. FloodProBE Project Report.

A partir de la tabla del ejemplo anterior, es conveniente desarrollar una particularizada para el caso de estudio a tratar.

Para cada uno de los elementos críticos del inventario con riesgo, deberá valorarse si cada uno de los requerimientos estará garantizado durante una inundación. Si se determina que los requerimientos se encuentran garantizados, la instalación podría excluirse del **inventario de elementos críticos afectados**.

De igual manera, deberá comprobarse de si las instalaciones disponen de un **plan de autoprotección**. Si este fuera el caso, podría estar garantizado el servicio, por lo que podría excluirse la instalación del listado de elementos críticos a adaptar.

5.4. Identificación de interdependencias

Resulta de gran utilidad la identificación de las **interdependencias** entre los distintos elementos y redes, puesto que permitirá obtener una idea aproximada del funcionamiento global del sistema urbano.

Aunque en ocasiones sea una labor de gran complejidad, se puede facilitar mediante la elaboración de un diagrama de interdependencias que permita su consulta de manera visual.

No es necesario reflejar en el diagrama todos los elementos inventariados, sino los nodos o puntos críticos de los sistemas, como puede verse en el siguiente ejemplo.

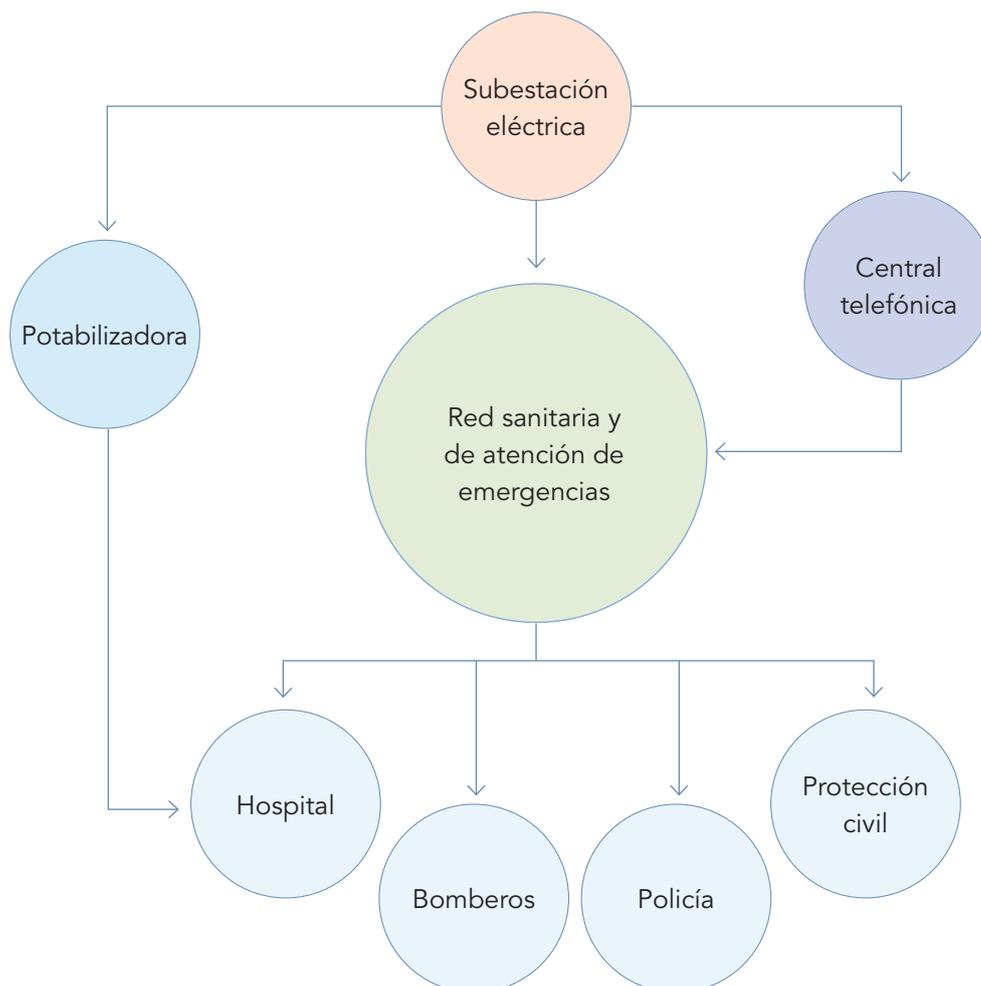


Figura 33. Ejemplo de diagrama de interdependencias.

En este caso, se ha supuesto un sistema urbano que dispone de una subestación eléctrica que alimenta a la red de abastecimiento (potabilizadora), a la red de telecomunicaciones (central telefónica) y a la red sanitaria y de atención de emergencias. Esta última está formada por una estación de bomberos, una estación de policía, una estación de protección civil y un hospital que, además, depende de la potabilizadora para disponer de un suministro constante de agua potable.

5.5. Evaluación de los daños

La evaluación de los daños es una tarea de gran complejidad, puesto que a pesar de que los daños tangibles podrían llegar a cuantificarse por distintos métodos, obteniendo una estimación del importe económico que supondría la recuperación de un elemento afectado o el valor del servicio interrumpido, siempre se derivan

daños intangibles cuya cuantificación, o incluso estimación, no es posible, en especial a lo relacionado con los daños a las personas (víctimas, heridos, daño psicológico o sentimental).

A modo de ejemplo, existe un caso bien documentado sobre las inundaciones del río Severn en julio de 2007, que afectaron a las localidades de Tewkesbury y Gloucester en Reino Unido. En este episodio se documentaron los siguientes daños:

- Resultaron directamente afectados por las aguas 5.000 hogares y comercios.
- La subestación eléctrica de Castle Meads quedó fuera de servicio, por lo que 50.000 hogares se quedaron sin electricidad.
- Gracias a las labores combinadas del ejército y los servicios de emergencia, se levantaron barreras temporales para proteger las instalaciones de la subestación eléctrica de Walham. La inundación se quedó a 10 cm de sobrepasarlas y dejar sin electricidad a 500.000 usuarios.
- También resultó afectada la planta de tratamiento de agua de Mythe, en Tewkesbury, por la contaminación del agua. Se vieron afectados unos 150.000 usuarios de esta red, sin acceso a agua potable en sus casas durante 16 días, en Tewkesbury y Gloucester, e incluso en Cheltenham, que inicialmente no había sufrido daños directos por la inundación.
- En total, 420.000 personas no tuvieron acceso a agua potable en algún momento del episodio.
- Todas las carreteras de acceso a Tewkesbury quedaron cortadas.
- El estadio del equipo Gloucester City A.F.C. y la abadía de Tewkesbury quedaron inundados.

De la experiencia adquirida en inundaciones de esta magnitud, se concluye que el sistema urbano tiene una complejidad tal que resulta extremadamente complicado predecir con exactitud los daños indirectos que se derivan de la afección de uno sólo de sus elementos.

Es por esto que, a efectos de esta Guía, se propone una **metodología simplificada de evaluación de daños** basados, para que puede ser empleada con sencillez por el técnico evaluador.

Ésta se basa en la **categorización de la gravedad de los daños** ocasionados sobre los elementos de las redes del sistema urbano, en función de los **calados** y **velocidades**, si estuviesen disponibles, calculados en los estudios de inundabilidad existentes.

En primer lugar y puesto muchos de los elementos de las redes son **edificios e instalaciones asimilables**, es recomendable acudir al capítulo 3 de la **“Guía para la reducción de la vulnerabilidad de los edificios frente a las inundaciones”** en el que se ofrece una propuesta metodológica para la identificación detallada de los posibles daños que pueden producirse, que puede resumirse en las fases presentadas en el esquema siguiente.

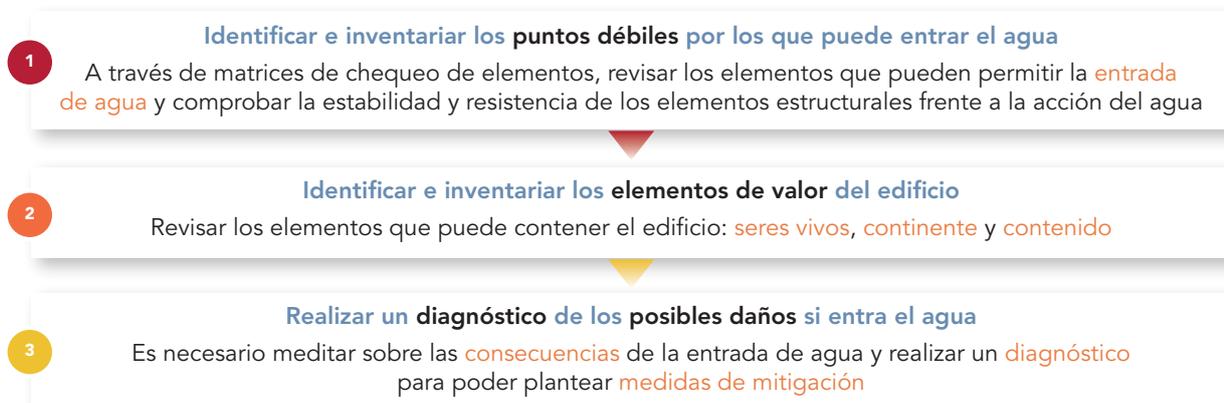


Figura 34. Esquema conceptual de las fases de diagnóstico de daños.

Respecto a la última etapa, dicha Guía ofrece ejemplos de estimación de daños causados por inundación en función del **nivel que alcance el agua** y calculando el coste anual de los mismos integrando las frecuencias de recurrencia de acuerdo a la fórmula:

$$D = \sum_{i=1}^{\infty} \frac{D(x_{i-1}) + D(x_i)}{2} [P(x \geq x_i)]$$

Donde **D(x)** es el daño que resulta de un episodio de inundación y **P(x)** es la probabilidad de que un evento de magnitud ocurra en un año dado (la inversa del periodo de retorno).

En el caso de los sistemas urbanos, la estimación del daño puede resultar una labor de gran complejidad, ya que, tal y como se ha venido desarrollando en apartados anteriores, a las pérdidas económicas directas por daños a los elementos o pérdida del servicio hay que añadir una componente intangible que no puede cuantificarse, así como daños indirectos o en cascada que no pueden conocerse en su totalidad.

Por lo tanto, a continuación, se ofrece una **metodología simplificada** y adaptada a este contexto, basada en la desarrollada en la Guía de Edificios.

Para el caso del diagnóstico de las redes urbanas, es conveniente tener en cuenta, además del calado del agua, su **velocidad**, puesto que puede comprometer la **estabilidad de los elementos** y llegar producirse graves **daños por el impacto de objetos** arrastrados por el agua.

En este sentido, **Guía técnica de apoyo a la aplicación del reglamento del dominio público hidráulico en las limitaciones a los usos del suelo en las zonas inundables de origen fluvial**, publicada por el Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente en 2017, ofrece una **valoración del grado de afección** a partir de la categorización de la variable de **calados** y **velocidades** para la avenida de 500 años. A continuación, se incluye dicha categorización.

Característica	Valores umbrales	Valoración del grado de afección
Calados y velocidades en la zona inundada h (m) y v (m/s)	h > 1,5 m ó v > 2 m/s ó h*v > 3 m ² /s	Muy grave
	h > 1 m ó v > 1 m/s ó h*v > 0,5 m ² /s	Grave
	0,25 ≤ h ≤ 1	Moderado
	0 < h < 0,25	Leve

Tabla 4. Valoración del grado de afección a partir de la categorización de calados y velocidades para la avenida de 500 años. Fuente: Guía técnica de apoyo a la aplicación del reglamento del dominio público hidráulico en las limitaciones a los usos del suelo en las zonas inundables de origen fluvial. MAPAMA, 2017.

La representación gráfica de estos criterios se muestra en la siguiente figura:

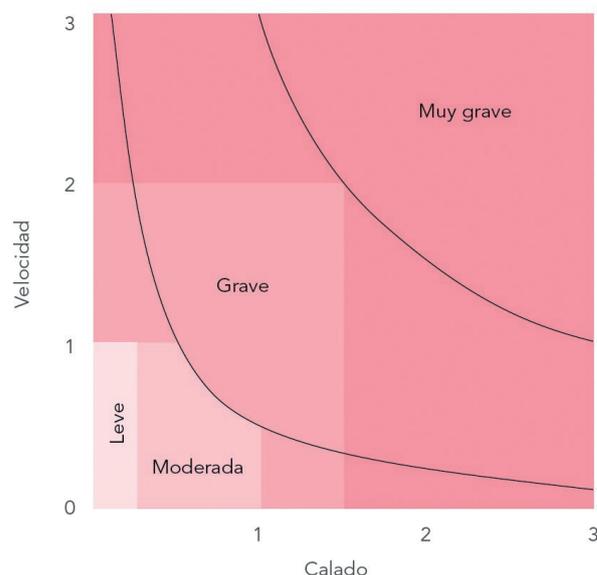


Figura 35. Gráfica de calado frente a velocidad y la categorización del daño para la avenida de 500 años.

Así pues, es necesario valorar, de acuerdo a los umbrales anteriores, el **grado de afección** que puede producirse para cada uno de los elementos identificados con riesgo.

No obstante, la disponibilidad y fiabilidad de los datos de calados habitualmente es muy superior a los de velocidades, ya que éstos pueden variar de intensidad y dirección en función del calado, lo que añade una complejidad a los cálculos que las modelizaciones hidráulicas difícilmente pueden estimar.

Debe consultarse la disponibilidad de cartografía de zonas inundables para el área de interés. Actualmente, los calados alcanzados por el agua están disponibles en el visor del SNCZI.

En el caso de que no se disponga de información de las velocidades del agua, o los datos no presenten suficiente confianza, se podrá realizar el análisis empleando únicamente los calados.

Una vez que se ha valorado el grado de afección, se asigna la **puntuación del riesgo**:

Valoración del grado de afección	Puntuación
Muy grave	10
Grave	8
Moderado	5
Leve	3
Sin afección	0

Tabla 5. Puntuación del riesgo asignada según la valoración del daño.

Este valor es el que se empleará en la fórmula del coste anual anteriormente expuesta.

Por otra parte, los periodos de retorno empleados deben ser aquellos de los exista información fácilmente disponible. Los trabajos de desarrollo del SNCZI para el cumplimiento de la Directiva 2007/60/CE y el Real Decreto 903/2010 han sido para los **periodos de retorno de 10, 100 y 500 años**, por lo que son los propuestos en esta metodología.

En virtud de lo anterior, la fórmula de **coste anual de daños esperados** quedaría de la siguiente manera:

$$D = \frac{D(T10)+D(T100)}{2} [P(T10)-P(T100)] + \frac{D(T100)+D(T500)}{2} [P(T100)-P(T500)]$$

donde, por ejemplo D(T10) es el daño esperable para un periodo de retorno de 10 años, mientras que P(T10) es la probabilidad de que el evento ocurra (1/10).

Mediante el empleo de esta fórmula, se podrá calcular el **índice de cuantificación del daño** para un elemento de una red, obteniendo un valor entre 0 (sin afección) y 1,48 (afección muy grave para los tres periodos de retorno).

Para la obtención del índice para el sistema urbano en su conjunto, simplemente mediante la **suma** del coste asociado a cada uno de ellos se obtendrá el **índice global del riesgo de inundación del sistema urbano**.

Este índice será el punto de partida para el estudio de propuesta de actuaciones para el aumento de la resiliencia.

5.6. Propuesta de actuaciones para el aumento de la resiliencia

La obtención del índice global del riesgo de inundación del sistema urbano permitirá tener una visión global de las necesidades de adaptación de los elementos del sistema urbano.

A continuación, deberá realizarse un estudio de las posibles alternativas de adaptación de cada elemento, empleando de base las expuestas en el apartado *BLOQUE 4. ESTRATEGIAS DE ADAPTACIÓN E INCREMENTO DE LA RESILIENCIA FRENTE AL RIESGO DE INUNDACIÓN*.

Para la propuesta de actuaciones y siguiendo la metodología desarrollada por el proyecto **FloodProBE**, que se presentó en el apartado 5.3 *Identificación de los elementos críticos en las redes del sistema urbano*, sobre la protección de elementos críticos, en el documento técnico "**D 4.3: Technologies for floodproofing "hotspot" buildings**", se realiza un análisis de posibles técnicas de protección y su posibilidad de aplicación a cada uno de los elementos críticos de un sistema urbano. Este tipo de diagrama puede resultar de gran utilidad para plantear las distintas alternativas de actuación, facilitando la labor de los técnicos para la toma de decisiones.

Las acciones estudiadas son las siguientes:

- **"Protección húmeda"**: tolerar la inundación, permitiendo la entrada del agua a las plantas inferiores y protegiendo las superiores.
- **"Protección seca"**: evitar la inundación, protegiendo la totalidad de la instalación.
- **Sobreelevación con pilares**: situar la instalación por encima de la cota de inundación empleado pilares para sobreelevarla.
- **Sobreelevación en plataforma**: en este caso, se realiza un relleno de tierras que forma una plataforma sobre la que se coloca la instalación, por encima de la cota de inundación.
- **Estructura flotante**: la instalación cuenta con una estructura flotante instalada de forma permanente sobre el agua que permite el movimiento vertical en caso de inundación.

- **Estructura anfibia:** es este caso, la instalación presenta un funcionamiento normal en tierra firme, pero cuenta con la capacidad de flotar en el caso de que sea alcanzado por una inundación.
- Barreras temporales: barreras móviles desmontables que pueden colocarse en caso de inundación.
- Barreras permanentes: la protección es continua al tratarse de barreras fijas, ofreciendo protección tanto en situación normal como en episodios de inundación.

A continuación se ofrece una tabla resumen adaptada a partir de las conclusiones de dicha publicación en la que se determina la viabilidad del uso de cada actuación para cada tipo de instalación:

	"Protección húmeda"	"Protección seca"	Sobreelevación con pilares	Sobreelevación en plataforma	Estructura flotante	Estructura anfibia	Barreras temporales	Barreras permanentes
Tratamiento de aguas		✓		✓	✓	✓	✓	✓
Tratamiento de aguas residuales		✓		✓	✓	✓	✓	✓
Subestaciones eléctricas		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Otras fuentes de energía		✓		✓	✓	✓	✓	✓
Hospitales		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Estaciones de bomberos			✓	✓	✓	✓		✓
Estaciones de policía			✓	✓	✓	✓		✓
Comunicaciones	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Distribución de alimentos		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Centros financieros		✓	✓	✓			✓	✓
Aeropuertos			✓	✓	✓	✓	✓	✓
Estaciones de autobuses			✓	✓	✓	✓		✓
Estaciones de trenes			✓	✓				
Estaciones de metro		✓					✓	✓

Tabla 6. Visión general de la aplicabilidad de las estrategias de protección contra inundaciones para elementos críticos. Adaptación de la tabla 3.20 del documento "D 4.3: Technologies for floodproofing "hotspot" buildings", publicado dentro del marco del proyecto FloodProBE.

Conviene analizar de forma individualizada la posibilidad de emplear cada una de estas medidas para cada elemento crítico. Para ello, debe tenerse en cuenta tanto la viabilidad técnica de cada medida como el coste de su ejecución y mantenimiento, pero también posibles cambios en la inundabilidad y afecciones a terceros.

5.7. Valoración de alternativas

Para la valoración de alternativa, la técnica más habitual es la utilización del **análisis coste-beneficio**, habitualmente a través de un **análisis multicriterio** en el que se le asigna un peso de gran importancia a las pérdidas económicas frente a la inversión que es necesario acometer.

En el contexto de esta guía, para realizar la comparativa de la eficacia de cada una de las alternativas estudiadas, deberá **recalcularse el índice de cuantificación del daño** de cada elemento adaptado y comprobar la variación resultante del índice global del riesgo de inundación del sistema urbano, pudiendo conocer el porcentaje de reducción del escenario adaptado en su conjunto y, de esta forma, valorar de forma cuantitativa la eficacia de las estrategias propuestas.

5.8. Priorización de las medidas

Por último, una vez identificadas y valoradas las estrategias de adaptación óptimas para cada elemento crítico, es conveniente realizar una **priorización de la ejecución de las actuaciones**, puesto que es probable que todas ellas no puedan acometerse a corto plazo, puesto que requieren de planificación y fondos tanto para su ejecución como para su mantenimiento.

En este sentido, el diagrama de interdependencia ayudará a esta labor, identificando y, por lo tanto, permitiendo priorizar aquellas que actúen sobre los nodos del sistema de los dependen mayor número de elementos.

Por ejemplo, a partir del ejemplo de diagrama mostrado en la *Figura 33. Ejemplo de diagrama de interdependencias*, se puede concluir que el correcto funcionamiento de la subestación eléctrica durante todo el episodio de inundación es fundamental para mantener el servicio proporcionado por varias de las redes del sistema, por lo que se debería priorizar este elemento sobre otros.

BLOQUE 6. REFERENCIAS

6.1. Normativa y documentación técnica

Se relaciona a continuación las principales normas y documentos técnicos a considerar.

USOS DEL SUELO EN ZONAS INUNDABLES

En la web del Ministerio, página “Inicio > Agua > Gestión de los riesgos de inundación > Usos del suelo en zonas inundables” (<https://www.mapama.gob.es/es/agua/temas/gestion-de-los-riesgos-de-inundacion/ usos-del-suelo-en-zonas-inundables/default.aspx>) además de hacer una exposición de la materia, se enlaza con la mayoría de los documentos (y otros que no constan aquí) que están en el ámbito de la Dirección General del Agua.

“REGLAMENTO DEL DOMINIO PÚBLICO HIDRÁULICO, Y SU MODIFICACIÓN” (RD 638/2016, de 9 de diciembre)

“GUÍA TÉCNICA DE APOYO A LA APLICACIÓN DEL REGLAMENTO DEL DOMINIO PÚBLICO HIDRÁULICO EN LAS LIMITACIONES A LOS USOS DEL SUELO EN LAS ZONAS INUNDABLES DE ORIGEN FLUVIAL”, 2017 (elaborada por la Dirección General del Agua del Ministerio, con la participación de diversos organismos de Fomento, Interior, MINECO y del propio MAPAMA).

FOLLETO INFORMATIVO “LOS USOS EN LAS ZONAS INUNDABLES: DIRECTIVA DE INUNDACIONES, LEY DE AGUAS Y REGLAMENTO DEL DOMINIO PÚBLICO HIDRÁULICO”, 2017 (Dirección General del Agua).

Además, se listan las Comunidades Autónomas que han establecido normas adicionales de protección respecto a las limitaciones de usos en las zonas inundables de acuerdo con sus competencias en ordenación del territorio.

Por último, se recuerda que la normativa de los Planes hidrológicos de cuenca puede recoger igualmente determinadas limitaciones específicas y más protectoras a los usos en zonas inundables en sus ámbitos territoriales, respetando la regulación básica establecida en el RPDH. Por ello, se ofrece información sobre los planes hidrológicos de cuenca vigentes a través del este [enlace](#).

DELIMITACIÓN DE ZONAS INUNDABLES

“Guía Metodológica para el desarrollo del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables”. Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino. 2011.

“Hidrología Aplicada”. Ven Te Chow; David R. Maidment; Larry W. Mays. 1994.

REGLAMENTOS TÉCNICOS

A continuación, se listan los reglamentos técnicos de los distintos sectores de aplicación:

“REAL DECRETO 223/2008, DE 15 DE FEBRERO, POR EL QUE SE APRUEBAN EL REGLAMENTO SOBRE CONDICIONES TÉCNICAS Y GARANTÍAS DE SEGURIDAD EN LÍNEAS ELÉCTRICAS DE ALTA TENSIÓN”, y sus instrucciones técnicas complementarias ITC-LAT 01 a 09.

“REAL DECRETO 337/2014, DE 9 DE MAYO, POR EL QUE SE APRUEBAN EL REGLAMENTO SOBRE CONDICIONES TÉCNICAS Y GARANTÍAS DE SEGURIDAD EN INSTALACIONES ELÉCTRICAS DE ALTA TENSIÓN”, y sus Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-RAT 01 a 23.

“REAL DECRETO 842/2002, DE 2 DE AGOSTO, POR EL QUE SE APRUEBA EL REGLAMENTO ELECTROTÉCNICO PARA BAJA TENSIÓN”, y sus instrucciones técnicas complementarias ITC-BT 01 a 52.

IF-3. "INSTRUCCIÓN PARA EL PROYECTO Y CONSTRUCCIÓN DE OBRAS FERROVIARIAS IF-3. VÍA SOBRE BALASTO. CÁLCULO DE ESPESORES DE CAPAS DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL" (julio de 2015).

"NAP 1-2-0.3 NORMA ADIF PLATAFORMA. CLIMATOLOGÍA, HIDROLOGÍA Y DRENAJE" (1ª Edición: julio 2015)

NORMA "6.1-IC SECCIONES DE FIRME DE LA INSTRUCCIÓN DE CARRETERAS" (noviembre de 2003).

NORMA "5.2-IC DRENAJE SUPERFICIAL DE LA INSTRUCCIÓN DE CARRETERAS" (febrero de 2016)

GUÍAS DE EDIFICIOS:

"GUÍA PARA LA REDUCCIÓN DE LA VULNERABILIDAD DE LOS EDIFICIOS FRENTE A LAS INUNDACIONES", 2017 (Convenio Consorcio de Compensación de Seguros, y la Dirección General del Agua).

"GUÍAS DE ADAPTACIÓN AL RIESGO DE INUNDACIÓN: ADAPTACIÓN DE EDIFICIOS, CRITERIOS DE DISEÑO", 2018 (Dirección General del Agua).

6.2. Bibliografía y direcciones web de interés

Catálogo Nacional de Inundaciones Histórica (CNIH).

AdapteCCa. Plataforma de intercambio y consulta de información sobre adaptación al Cambio Climático en España.

"GUÍA PARA LA ELABORACIÓN DE PLANES DE ACTUACIÓN MUNICIPAL ANTE EL RIESGO DE INUNDACIONES". Generalitat Valenciana.

"GUÍA TÉCNICA PARA LA ELABORACIÓN DE PLANES DE AUTOPROTECCIÓN". Dirección General del Protección Civil y Emergencias. 2012.

"GUÍA PARA LA AUTOPROTECCIÓN EN CENTROS ESCOLARES". Dirección General del Protección Civil y Emergencias. 2006.

"GUÍA METODOLÓGICA SOBRE BUENAS PRÁCTICAS EN GESTIÓN DE INUNDACIONES. MANUAL PARA GESTORES" (Contrato del río Matarraña, Alfredo Ollero). Diciembre 2014.

"DIRECTRIUS DE PLANIFICACIÓ I GESTIÓ DE L'ESPAI FLUVIAL". Agencia Catalana del Agua).

"Cómo desarrollar ciudades más resilientes. Un manual para líderes de los gobiernos locales". Naciones Unidas. Marzo 2012.

"GrEEEn Solutions for Livable Cities". Asian Development Bank. 2016.

"Guidelines on the Assessment of Tangible flood Losses". Department for Natural Resources and Mines, Queensland, Australia. 2002.

"Technologies for Flood Protection of the Built Environment". FloodProBE Project. 2013.

"D 2.2: Assessment of vulnerability of critical infrastructure buildings to floods". FloodProBE Project. 2012.

"D 4.3: Technologies for floodproofing "hotspot" buildings". FloodProBE Project. 2012.

"CONDUCTING FLOOD LOSS ASSESSMENTS. Integrated Flood Management Tools Series". Associated Programme on Flood Management. World Meteorological Organization. Junio 2013.

"Flood preparedness, resilience and adaptation". WGF17 Workshop. 2015.

"Flood Risk Management, Economics and Decision Making Support". Floods Working Group (CIS). 2012.

"PROPOSTA METODOLÓGICA PARA ESTIMAR DANOS RELACIONADOS À INUNDAÇÃO EM ÁREAS URBANAS". Daniela Prá Silva de Sousa; Roberto Fabris Goerl. Universidade Federal de Santa Catarina. 2018

6.3. Proyectos de investigación

“PROYECTO RESIN” (Climate Resilient Cities and Infrastructures)

“PROYECTO EU-CIRCLE” (A pan-European framework for strengthening resilience of critical infrastructure)

“PROYECTO FloodProBE” (Technologies for Improved Safety of the Built Environment in Relation to Flood Events)

“FLOODSite”

“RESCCUE PROJECT: RESilience to cope with Climate Change in Urban arEas”

“CITY RESILIENCE INDEX”. The Rockefeller foundation – ARUP.

“EFAS”. European Flood Awareness System.

6.4. Webs gubernamentales

En diversas páginas web gubernamentales se pueden encontrar numerosas publicaciones sobre la gestión del riesgo de inundación, que pueden ser útiles aunque no se haya ninguna específica sobre redes e infraestructuras. Las webs más destacadas son:

Reino Unido: <https://www.gov.uk/topic/environmental-management/flooding-coastal-change>

Francia: CEPRI (Centre Européen de Prévention du Risque d’Inondation) <http://www.cepri.net/>

FEMA (EE.UU.): <https://www.fema.gov/floodplain-management-publications>

APÉNDICE. Ejemplo de aplicación de la metodología para la evaluación de la resiliencia frente a la inundación

En el presente apéndice se incluye la aplicación de la propuesta metodológica que se describen en el apartado 5 de la presente guía, sobre un sistema urbano de ejemplo, de la manera más realista posible, pero siempre teniendo en cuenta de que se trata de un caso simplificado y que la aplicación metodológica real puede requerir de una profundidad mayor y, por lo tanto, esfuerzos adicionales a los aquí empleados.

Como ámbito de actuación para este ejemplo se ha escogido el municipio de Valladolid.

La aplicación de la metodología consta de las siguientes actividades:

- OBTENCIÓN DEL INVENTARIO DE ELEMENTOS CON RIESGO DE INUNDACIÓN PARA EL PERIODO DE RETORNO DE 500 AÑOS
- VALORACIÓN DEL RIESGO
- PROPUESTA DE MEDIDAS

A continuación, se describen los pasos relacionados con cada una de ellas.

OBTENCIÓN DEL INVENTARIO DE ELEMENTOS CON RIESGO DE INUNDACIÓN PARA EL PERIODO DE RETORNO DE 500 AÑOS

1. DESCARGA DE LA INFORMACIÓN DISPONIBLE DE LA BTN25

Se accede al Centro de Descargas del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG) a través del siguiente enlace:

<http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/>

Se pueden realizar búsquedas de productos mediante un visor o a través de listado.

Se ha elegido el primero de los métodos, seleccionando "Municipio" como "División administrativa" y tecleando "Valladolid". El visor localiza el municipio indicado e informa de los productos disponibles para descarga.

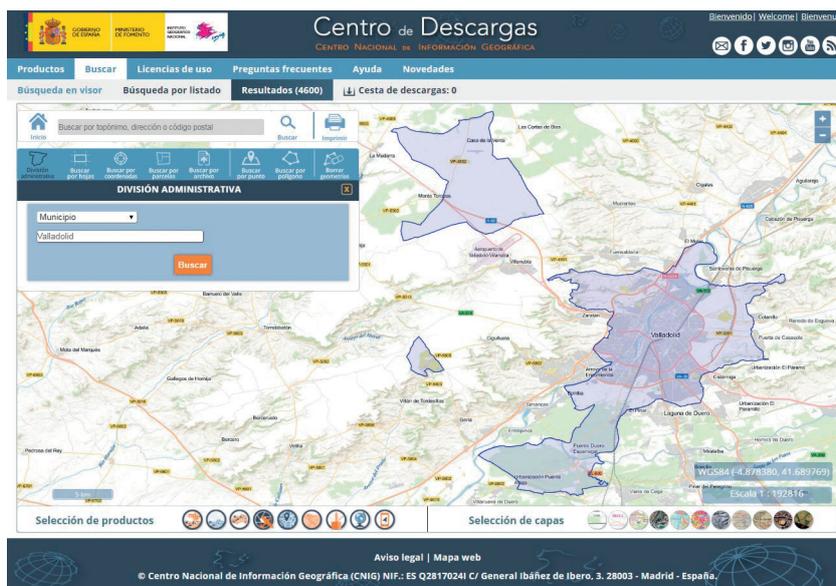


Figura 36. Selección de división administrativa en el visor de búsquedas.



Figura 37. Resultado de la búsqueda de productos para el municipio de Valladolid. Se ha seleccionado el producto BTN25.

Como puede observar, en este caso, la BTN25 se compone de 10 hojas.

2. SELECCIÓN DE CAPAS DE LA BTN25 DE INTERÉS

Una vez que se dispone de las capas de información de la BTN25 son procesadas mediante software SIG.

Sobre la totalidad de capas de la BTN25, se seleccionan sólo las indicadas en el Apéndice 2, puesto que son las que tienen interés para el objeto de estos trabajos.

En el caso de los complejos industriales, se ha recurrido a la información disponible en la plataforma PRTR-España en lugar de la capa 0513S de la BTN25 para tener en cuenta únicamente aquellas industrias potencialmente contaminantes.

3. CRUCE DE CAPAS DE LA BTN25 CON LA EXTENSIÓN DEL MUNICIPIO

Las capas con los elementos de interés son cruzadas con la extensión del municipio, obteniendo así el inventario preliminar de elementos.

4. DESCARGA DE LA INFORMACIÓN DISPONIBLE EN EL SNCZI

En este caso, se ha realizado una descarga de la capa de láminas de inundación para el periodo de retorno de 500 años disponible en el "Descargas del Área de actividad del Agua" dentro de la Infraestructura de datos espaciales (IDE) del Ministerio para la Transición Ecológica (MITECO).

Visores

- Infraestructura de datos espaciales – IDE
- Presentación
- Catálogo de Metadatos
- GeoPortal
- Descargas
- Directorio de servicios
- Documentación
- Enlaces de Interés
- Legislación
- Enlaces de interés
- Publicaciones y documentación

Zonas Inundables asociadas a periodos de retorno



La cartografía incluida en este servicio contiene las áreas definidas como **Zonas Inundables asociadas a periodos de retorno** en estudios llevados a cabo por las autoridades competentes en materia de aguas, ordenación del territorio y Protección Civil, y la correspondiente información alfanumérica asociada.

La delimitación de estas zonas inundables se realiza de varias formas:

- A partir de un estudio hidrológico en el que se determinan los caudales asociados al **Periodo de Retorno** correspondiente considerado en el SNCZI, (10, 50, 100 y 500 años). Una vez definidos los caudales se realiza un estudio hidráulico para determinar los niveles alcanzados por la lámina de agua y con ellos la extensión del área inundada asociada a esa frecuencia.
- A partir de estudios geomorfológico-históricos que permiten delimitar zonas con probabilidad baja de inundación en función de las evidencias históricas y geomorfológicas identificadas.
- A partir de una metodología mixta que incluya los dos métodos anteriores, lo que permite una mejor fiabilidad de los resultados.

En el caso de considerar estructuras de laminación o derivación de caudales en el cálculo hidrológico se considera que los caudales se encuentran en **régimen alterado**; en caso contrario en **régimen natural**.

- Z.I. con alta probabilidad (T=10 AÑOS)
- Z.I. de inundación frecuente (T=50 AÑOS)
- Z.I. de probabilidad media u ocasional (T=100 AÑOS)
- Z.I. de probabilidad baja o excepcional (T=500 AÑOS)

Figura 38. Descarga de zonas inundables asociadas a periodos de retorno disponibles en la IDE del MITECO.

5. CRUCE DE CAPAS DEL SNCZI CON LA EXTENSIÓN DEL MUNICIPIO

Las capas del SNCZI descargadas son de ámbito nacional, por lo que es necesario seleccionar únicamente las áreas de interés.

Para ello, se cruza esta información con la extensión del municipio, encontrando las láminas de inundación de la siguiente figura.

Las zonas disponibles se corresponden con dos documentos:

- SISTEMA NACIONAL DE CARTOGRAFÍA DE ZONAS INUNDABLES EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL DUERO.
- Estudio hidrológico-hidráulico y delimitación de zonas inundables en la cuenca del río Esgueva (Valladolid-Palencia-Burgos).

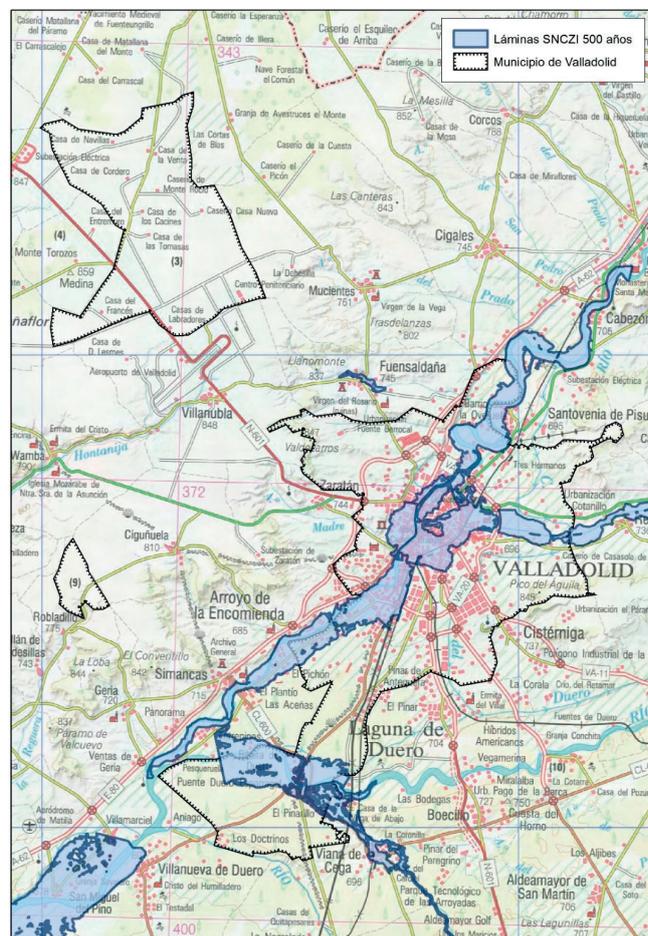


Figura 39. Zonas inundables disponibles en el SNCZI para el periodo de retorno de 500 años en el entorno del municipio de Valladolid.

6. CRUCE DEL INVENTARIO PRELIMINAR CON LA EXTENSIÓN LAS ZI DE 500 AÑOS

Una vez que se dispone de la extensión de las zonas inundables para el área de interés, se seleccionan aquellos elementos del inventario preliminar que pueden verse afectados por una posible inundación.

El resultado final de este proceso se muestra en la siguiente figura.

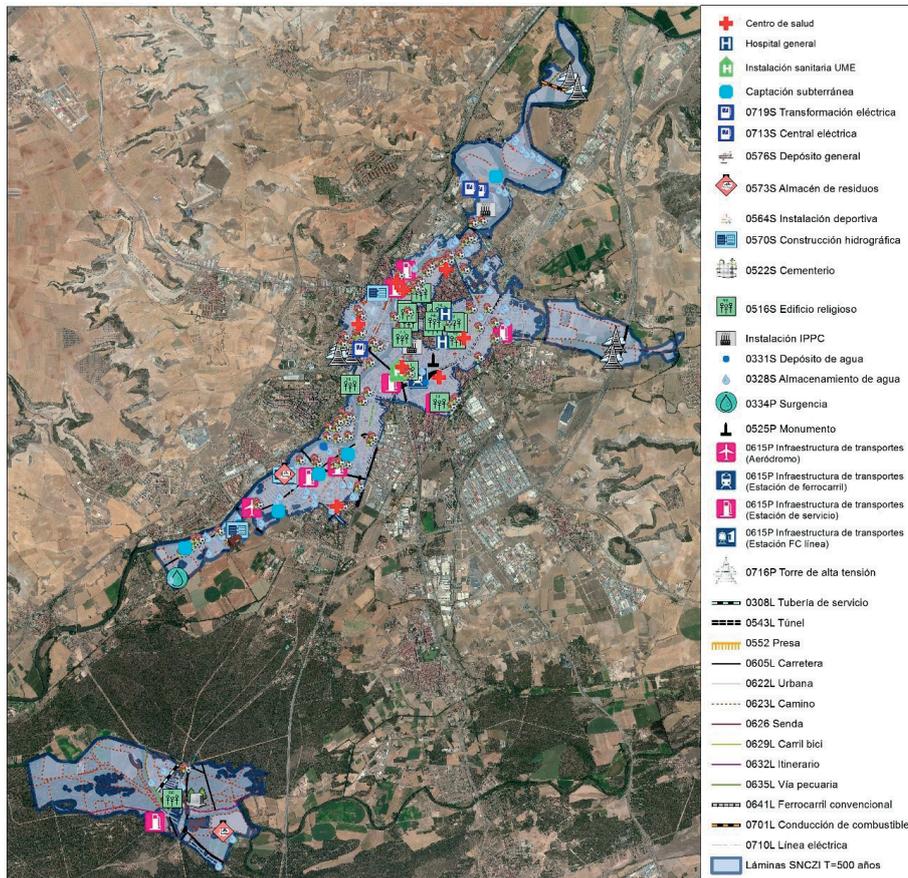


Figura 40. Inventario de elementos con riesgo de inundación para el periodo de retorno de 500 años.

De esta forma, se obtiene el inventario de elementos con riesgo por inundación para el periodo de retorno de 500 años.

Los elementos identificados se muestran en el siguiente listado:

SISTEMA URBANO	ELEMENTOS	AFECTADOS ZI 500 AÑOS
RED DE TELECOMUNICACIONES	Estaciones de emisión	-
	Antenas, repetidores	-
	Tendidos aéreos	-
RED ELECTRICA	Centrales energéticas	Central Hidroeléctrica del Cabildo
	Estaciones transformadoras	Subestación de la Olma
		Subestación sin nombre
	Tendidos aéreos	2 líneas de 220 kV
2 líneas < 100 kV		
Tendidos subterráneos	8 torretas de alta tensión	
RED DE SUMINISTRO DE GAS / PETRÓLEO	Estaciones de recepción y distribución	-
	Estaciones de bombeo o reducción de presión	-
	Conducciones	Oleoducto Valladolid-Salamanca
RED DE ABASTECIMIENTO Y SANEAMIENTO	Captaciones superficiales	Azud y canal de salida de la Central Hidroeléctrica Cabildo
		2 surgencias
	Captaciones subterráneas	6 captaciones (1 abastecimiento, 2 industriales y 3 de agricultura)
	Depósitos	26 depósitos, 109 almacenamientos de agua (piscinas)
	Conducciones de agua potable	1 conducción
	Estaciones de tratamiento de aguas potables	1 ETAP
	Colectores de aguas residuales	Sin información
REDES DE TRANSPORTE	Carreteras de acceso al núcleo de población	4 tramos de autovía VA-30
		3 tramos de autovía VA-20
		1 tramo de carretera N-601
		6 tramos de carretera CL-610
		3 tramos de carretera CL-600
		2 tramos de carretera VP-3301
		2 tramos de carretera VP-3401
		1 tramo de carretera VP-9003
		1 tramo de carretera VP-9801
		Caminos, senda, carril bici, itinerario GR-14, vías pecuarias
	Vías de ferrocarril de acceso al núcleo de población	1 línea
	Gasolineras y otras instalaciones asociadas	6 estaciones de servicio
	Estaciones e intercambiadores de transporte	Estación de Valladolid-Campo Grande
	Calles y vías principales de comunicación dentro del núcleo de población	978 calles, 3 túneles
Vías de ferrocarril de cercanías o de transporte dentro del núcleo de población	1 línea	
Aeropuertos, aeródromos y helipuertos	1 helipuerto	
Puertos	-	

Tabla 7. Elementos de interés identificados en zona inundable para el periodo de retorno de 500 años para el municipio de Valladolid.

EVALUACIÓN DE LA RESILIENCIA DE LOS NÚCLEOS URBANOS FRENTE AL RIESGO DE INUNDACIÓN:
Redes, sistemas urbanos y otras infraestructuras

SISTEMA URBANO	ELEMENTOS	AFECTADOS ZI 500 AÑOS
RED SANITARIA Y DE ATENCIÓN EN EMERGENCIAS	Centros de mayores o personas con discapacidad	Sin información
	Hospitales	Hospital Clínico Universitario Valladolid Sanatorio Sagrado Corazón
	Centros sanitarios ambulatorios	11 centros de salud
	Servicios de emergencias: bomberos y protección civil	-
	Instalaciones de las fuerzas y cuerpos de seguridad	3 instalaciones sanitarias UME
		Sin información
RED DE SERVICIOS	Centros educativos	97 centros educativos
	Superficies comerciales	Sin información
	Acampadas, zonas de alojamiento y edificios vinculados en los campings	Sin información
	Granjas, criaderos de animales, centros de acogida de fauna	1 granja
	Centros deportivos	14 campos de fútbol
		86 pistas deportivas
	Edificaciones de carácter religioso y cementerios	Iglesia de los Filipinos
		Iglesia de San Martín
		Iglesia del Carmen
		Iglesia de San Juan Bautista
		Iglesia de Nuestra Señora de la Antigua
		Iglesia de Santa María Magdalena
		Iglesia sin nombre
		Iglesia de San Benito
		Monasterio de Santa María de las Huelgas
		Convento de Santa Catalina
Real Monasterio de Recoletas Bernardas de San Joaquín y Santa Ana		
Convento de Santa Isabel		
Monasterio de Nuestra Señora del Prado		
Convento de Santa Teresa		
Convento de las Descalzas Reales		
Iglesia Catedral Nuestra Señora de la Asunción		
Cementerio de Puente Duero		
Patrimonio cultural	Fuentes de Argales	
Actividades recreativas	Sin información	
Aparcamientos	Sin información	
SECTOR INDUSTRIAL	Polígonos industriales y otras zonas industriales asociadas	3 recintos industriales
		7 silos
	Instalaciones de gestión de residuos	2 almacenamientos de residuos (jamileros)
	Instalaciones con productos que puedan resultar perjudiciales para la salud humana	8 instalaciones IPPC

7. IDENTIFICACIÓN DE ELEMENTOS CRÍTICOS

Los elementos en zona inundable del inventario anterior deben valorarse de manera individualizada para determinar su carácter crítico.

En el presente ejemplo, se ha determinado que los elementos críticos que deben adaptarse y sobre los que realizará el estudio de alternativas son los siguientes:

SISTEMA URBANO	ELEMENTO
RED ELECTRICA	Central Hidroeléctrica del Cabildo
	Subestación de la Olma
	Subestación sin nombre
RED ABASTECIMIENTO Y SANEAMIENTO	ETAP
	EDAR
REDES DE TRANSPORTE	Autovía VA-30
	Línea ferrocarril
	Estación de Valladolid-Campo Grande
	Helipuerto
RED SANITARIA Y DE ATENCIÓN EN EMERGENCIAS	Hospital Clínico Universitario Valladolid
	Sanatorio Sagrado Corazón
RED DE SERVICIOS	Fuentes de Argales

Tabla 8. Elementos críticos identificados en zona inundable para el periodo de retorno de 500 años para el municipio de Valladolid.

VALORACIÓN DEL RIESGO

1. CONSULTA DE LA INFORMACIÓN DE CALADOS DISPONIBLE EN EL SNCZI

A través del visor del SNCZI, se puede consultar los calados obtenidos para las zonas inundables en estudios recientes para el cumplimiento de la Directiva de inundaciones.

2. CÁLCULO DEL RIESGO

A través de la consulta del calado del agua para cada elemento y de aplicación de la fórmula propuesta en el apartado 5.5 Evaluación de los daños se puede clasificar el riesgo a partir del calado de la inundación alcanzada para cada uno de los elementos. Tras la aplicación de la fórmula de evaluación del daño, se obtendría la siguiente valoración:

ELEMENTO	ESCENARIO DE INUNDACIÓN			Valor daño
	10 años	100 años	500 años	
Central Hidroeléctrica del Cabildo	Sin afección	Leve	Grave	0,179
Subestación de la Olma	Leve	Moderado	Grave	0,562
Subestación sin nombre	Leve	Moderado	Moderado	0,55
ETAP	Muy grave	Muy grave	Muy grave	1,48
EDAR	Moderado	Moderado	Moderado	0,74
Autovía VA-30	Moderado	Moderado	Grave	0,752
Línea ferrocarril	Leve	Moderado	Moderado	0,55
Estación de Valladolid-Campo Grande	Leve	Leve	Moderado	0,452
Helipuerto	Leve	Leve	Moderado	0,452
Hospital Clínico Universitario Valladolid	Grave	Muy grave	Muy grave	1,29
Sanatorio Sagrado Corazón	Sin afección	Moderado	Muy grave	0,285
Fuentes de Argales	Sin afección	Sin afección	Leve	0,012
			VALOR TOTAL	7,304

Tabla 9. Valoración del daño en función del periodo de retorno para los elementos críticos en riesgo. Fuente: IGN.

Se obtiene, por lo tanto, una valoración del daño de **7,304**.

PROPUESTA DE MEDIDAS

Para reducir el daño producido en las instalaciones anteriores, se realiza un estudio pormenorizado en busca de la solución óptima a través de una propuesta de medidas, se estiman los calados resultantes después de la aplicación de las mismas y se repite la valoración del daño para comprobar el grado de eficacia.

Tras la ejecución de este proceso, se hace la siguiente propuesta de medidas (página siguiente), con la consiguiente reducción de la valoración del daño.

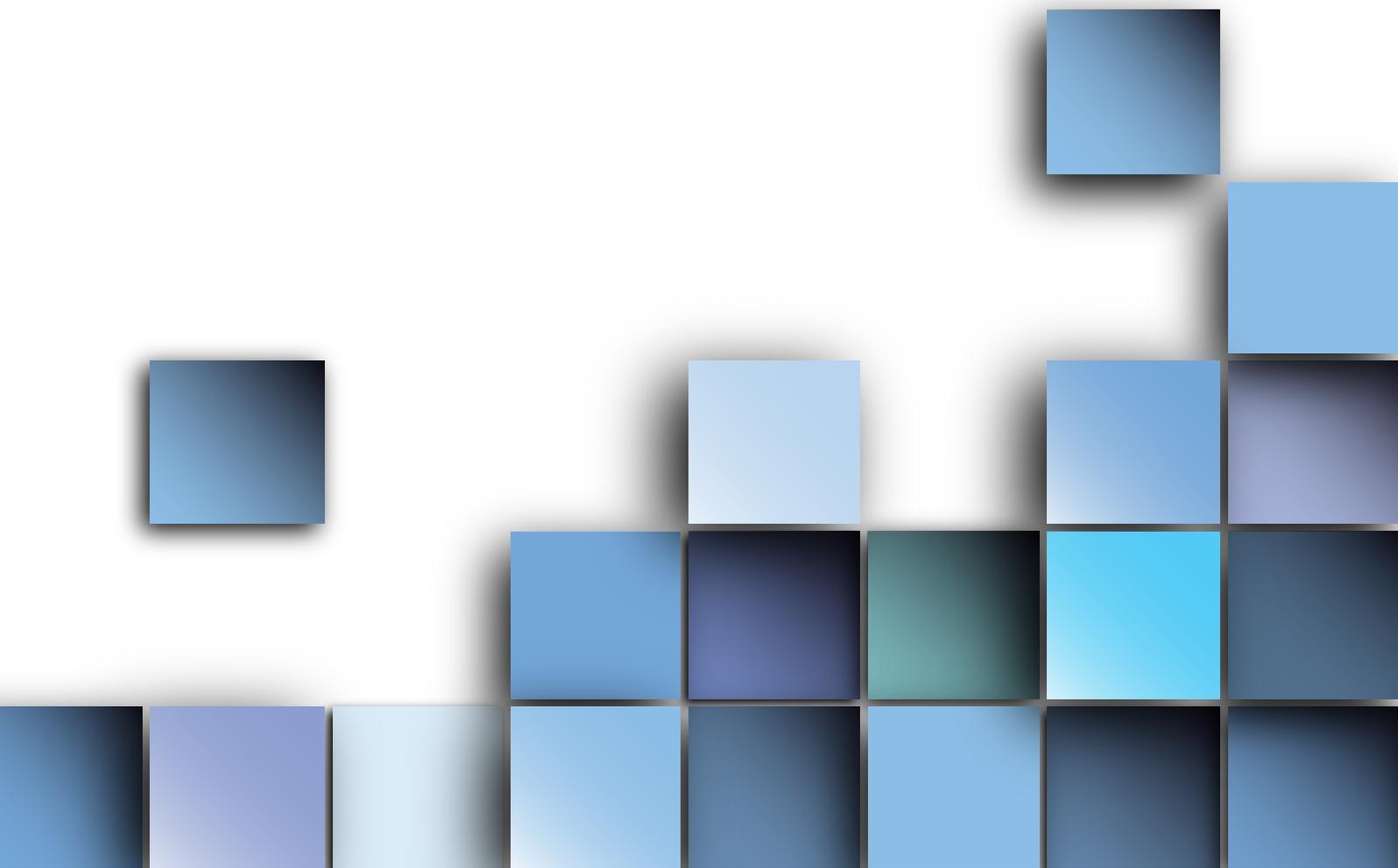
En este caso, se consigue una reducción del riesgo, desde una valoración de 7,304 hasta **2,118**, lo que equivaldría a una **reducción en torno al 70 %**.

ELEMENTO	ESCENARIO DE INUNDACIÓN			Puntuación inicial
	10 años	100 años	500 años	
Central Hidroeléctrica del Cabildo	Sin afección	Leve	Grave	0,179
Subestación de la Olma	Leve	Moderado	Grave	0,562
Subestación sin nombre	Leve	Moderado	Moderado	0,55
ETAP	Muy grave	Muy grave	Muy grave	1,48
EDAR	Moderado	Moderado	Moderado	0,74
Autovía VA-30	Moderado	Moderado	Grave	0,752
Línea ferrocarril	Leve	Moderado	Moderado	0,55
Estación de Valladolid-Campo Grande	Leve	Leve	Moderado	0,452
Helipuerto	Leve	Leve	Moderado	0,452
Hospital Clínico Universitario Valladolid	Grave	Muy grave	Muy grave	1,29
Sanatorio Sagrado Corazón	Sin afección	Moderado	Muy grave	0,285
Fuentes de Argales	Sin afección	Sin afección	Leve	0,012
				7,304

Tabla 10. Medidas propuestas y valoración del daño asociado

EVALUACIÓN DE LA RESILIENCIA DE LOS NÚCLEOS URBANOS FRENTE AL RIESGO DE INUNDACIÓN:
Redes, sistemas urbanos y otras infraestructuras

Estrategia de adaptación	ESCENARIO DE INUNDACIÓN			Puntuación inicial
	10 años	100 años	500 años	
Planes de actuación en emergencia	Sin afección	Leve	Leve	0,159
Adaptación: Evitar que llegue el agua al elemento	Leve	Leve	Leve	0,444
Retirada	Sin afección	Sin afección	Sin afección	0
Adaptación: Tolerar la entrada del agua en el elemento	Sin afección	Leve	Leve	0,159
Adaptación: Evitar que llegue el agua al elemento	Sin afección	Sin afección	Moderado	0,02
Planes de actuación en emergencia	Leve	Leve	Leve	0,444
Adaptación: Evitar que llegue el agua al elemento	Sin afección	Sin afección	Leve	0,012
Adaptación: Evitar que llegue el agua al elemento	Sin afección	Sin afección	Leve	0,012
Retirada	Sin afección	Sin afección	Sin afección	0
Adaptación: Diseñar el elemento para que resista el agua	Leve	Leve	Leve	0,444
Adaptación: Diseñar el elemento para que resista el agua	Sin afección	Grave	Grave	0,424
Adaptación: Tolerar la entrada del agua en el elemento	Sin afección	Sin afección	Sin afección	0
				2,118



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA