

# ADAPTACIÓN AL RIESGO DE INUNDACIÓN

## EDIFICACIONES

### CASO PILOTO

---

## EDIFICIO POLIVALENTE DE LA ESCUELA POLITÉCNICA DE INGENIERÍA DE GIJÓN



Marzo 2020

## ÍNDICE

---

### 1. INTRODUCCIÓN

- Marco geográfico
- Marco normativo
- Marco estratégico

### 2. ANTECEDENTES Y PROBLEMÁTICA

- Episodios recientes
- Escalas de intervención

### 3. FICHA DE LA EDIFICACIÓN

### 4. DESCRIPCIÓN DE LA EDIFICACIÓN

### 5. PELIGROSIDAD POR INUNDACIÓN

- Procedencia del agua
- Principales puntos de entrada de agua
- Daños potenciales

### 6. PROPUESTAS DE ADAPTACIÓN

- Medidas generales de autoprotección
- Mitigación de daños en la edificación
- Mitigación de daños en el equipamiento
- Sistemas urbanos de drenaje sostenible

### 7. POSIBLES FUENTES DE FINANCIACIÓN DE ESTRATEGIAS INTEGRALES

### 8. RESUMEN DE MEDIDAS

### 9. VALORACIÓN ECONÓMICA

### 10. REFERENCIAS

## 1. INTRODUCCIÓN

Las inundaciones son fenómenos de origen natural cuyo impacto se puede mitigar considerablemente si se siguen las medidas adecuadas. Es necesario aprender de cada evento y estar preparados para el siguiente, aplicando medidas de reducción del riesgo para minimizar al máximo posible los daños provocados por el agua. La Directiva 2007/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de la Unión Europea, de 23 de octubre de 2007, relativa a la “Evaluación y la gestión de los riesgos de inundación”, y su trasposición al ordenamiento jurídico español a través del Real Decreto 903/2010, de 9 de julio, tienen ese objetivo.

La herramienta clave de la Directiva son los Planes de Gestión del Riesgo de Inundación (PGRI). Dentro de las actuaciones incluidas en el “Plan de Impulso al Medio Ambiente para la Adaptación al Cambio Climático en España” (Plan PIMA Adapta) se encuentra la implantación de dichos PGRI en materias coordinadas con la adaptación al cambio climático, estableciendo las metodologías, herramientas y análisis necesarios. En este contexto, la Dirección General del Agua del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico ha desarrollado, entre otras, la guía de “Recomendaciones para la construcción y rehabilitación de edificaciones en zonas inundables”.

El presente documento constituye la aplicación de los conceptos de esta guía al edificio polivalente de la Escuela Politécnica de Ingeniería de Gijón, construido en 1977, perteneciente a la Universidad de Oviedo, y que alberga una importante actividad de investigación y docencia.



Fig. 01: Inundación en la EPI Gijón en junio de 2018. El Comercio.

- **Marco geográfico**

El concejo de Gijón cuenta con una población de 271.843 habitantes (INE, 2018). Determinado por la presencia del mar y la baja altitud, su clima es de tipo oceánico templado y húmedo. La Cordillera Cantábrica provoca la retención de los frentes polares, que se transforman habitualmente en borrascas. Los episodios de inundación se vinculan a fenómenos lluviosos de larga duración, que generan importantes volúmenes acumulados, o a eventos de corta duración pero elevada intensidad.

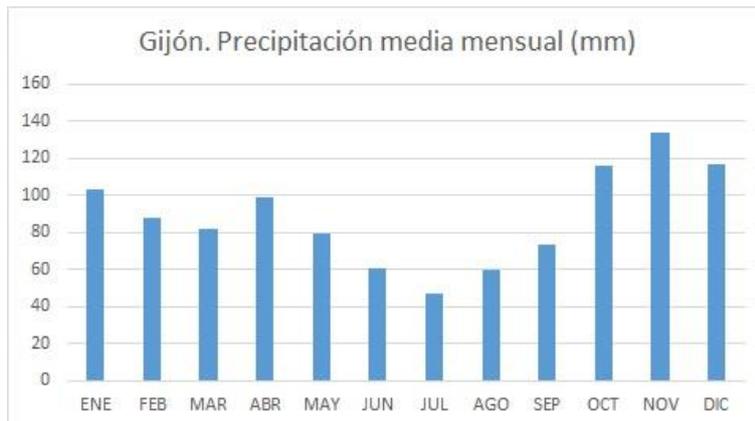


Fig. 02: Pluviograma de Gijón (Estación de Asturias-Aeropuerto). Precipitación media anual: 1062mm. AEMET.

- **Marco normativo**

- **La Directiva de Inundaciones** (Directiva 2007/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2007, relativa a la evaluación y gestión de los riesgos de inundación), tiene por objetivo “establecer un marco para la evaluación y gestión de los riesgos de inundación, destinado a reducir las consecuencias negativas para la salud humana, el medio ambiente, el patrimonio cultural y la actividad económica, asociadas a las inundaciones”. Por ello, exige que todos los Estados miembros cuenten con cartografía de peligrosidad y de riesgos de inundación, herramientas tanto para la gestión del riesgo como para la ordenación territorial en general. Por otra parte, la **Directiva Hábitats** y la **Directiva Marco del Agua** ofrecen un amplio escenario de complementariedad para una gestión integrada del riesgo de inundación.

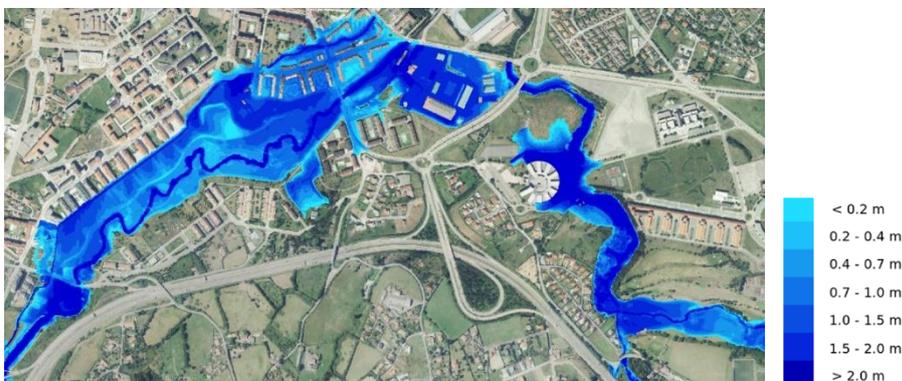


Fig. 03: Entorno de la EPI Gijón: peligrosidad T=500. SNCZI. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.



Fig. 04: Entorno de la EPI Gijón: riesgo a las actividades económicas T=500. SNCZI. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.

- **El Real Decreto 903/2010, de 9 de julio**, de evaluación y gestión de riesgos de inundación, es la transposición al ordenamiento jurídico español de la Directiva 2007/60/CE. Especifica las características generales que deberán tener los mapas de peligrosidad y de riesgos de inundación, y establece cuál debe ser el contenido de los Planes de Gestión del Riesgo de Inundación (PGRIs). Asimismo, delimita dos figuras clave en la legislación hidráulica: la zona de flujo preferente y la zona inundable. Posteriormente, el **Real Decreto 638/2016, de 9 de diciembre**, por el que se modifican, entre otros, el Reglamento del Dominio Público Hidráulico y el Reglamento de Planificación Hidrológica, identifica actividades vulnerables frente a avenidas, limita los usos del suelo en función de la situación respecto al río y establece nuevos criterios a la hora de autorizar las distintas actuaciones.



Fig. 05: Entorno de la EPI Gijón: zona de flujo preferente y zona inundable. SNCZI. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.

- **Los Planes de Gestión del Riesgo de Inundación (PGRi)** son los documentos de referencia para la administración y la sociedad en general en la gestión de avenidas, y suponen la última fase de implantación de la Directiva 2007/60/CE. Su contenido esencial es el programa de medidas. Para la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Occidental, en 2015 se definieron las siguientes:

MEDIDA RD 903/2010	MEDIDA PGRI CANTÁBRICO OCCIDENTAL
Medidas de restauración fluvial y medidas para la restauración hidrológico-agroforestal	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Programa de mantenimiento y conservación de cauces</li> <li>- Programa de mantenimiento y conservación del litoral</li> <li>- Medidas en la cuenca: restauración hidrológico-forestal y ordenaciones agrohidrológicas</li> <li>- Medidas en cauce y llanura de inundación: restauración fluvial, incluyendo medidas de retención natural de agua y reforestación de riberas</li> <li>- Medidas de restauración de la franja costera y de la ribera del mar</li> </ul>
Medidas de mejora del drenaje de infraestructuras lineales	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mejora del drenaje de infraestructuras lineales: carreteras, ferrocarriles</li> </ul>
Medidas de predicción de avenidas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elaboración de estudios de mejora del conocimiento sobre la gestión del riesgo de inundación: leyes de frecuencia de caudales, efecto del cambio climático, modelización de los riesgos de inundación y su evaluación, etc.</li> <li>- Normas de gestión de la explotación de embalses que tengan un impacto significativo en el régimen hidrológico</li> <li>- Medidas para establecer o mejorar los sistemas de alerta meteorológica incluyendo los sistemas de medida y predicción de temporales marinos</li> <li>- Medidas para establecer o mejorar los sistemas de medida y alerta hidrológica</li> </ul>
Medidas de protección civil	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Medidas para establecer o mejorar la planificación institucional de respuesta a emergencias de inundaciones a través de la coordinación con Planes de Protección Civil</li> <li>- Medidas para establecer o mejorar los protocolos de actuación y comunicación de la información</li> <li>- Medidas para establecer o mejorar la conciencia pública en la preparación para las inundaciones, para incrementar la percepción del riesgo de inundación y de las estrategias de autoprotección en la población, los agentes sociales y económicos</li> <li>- Planes de Protección Civil: acciones de apoyo a la salud, asistencia financiera, incluida asistencia legal, así como reubicación temporal de la población afectada</li> <li>- Evaluación, análisis y diagnóstico de las lecciones aprendidas de la gestión de los eventos de inundación</li> </ul>
Medidas de ordenación territorial y urbanismo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ordenación territorial: limitaciones a los usos del suelo en la zona inundable, criterios empleados para considerar el territorio como no urbanizable y criterios constructivos exigidos a las edificaciones situadas en zona inundable</li> <li>- Reordenación de los usos del suelo en las zonas inundables haciéndolos compatibles con las inundaciones (relocalización o retirada de actividades/instalaciones vulnerables)</li> <li>- Medidas para adaptar elementos situados en las zonas inundables para reducir las consecuencias adversas en episodios de inundaciones en viviendas, edificios públicos, redes, etc.</li> </ul>
Medidas para promocionar los seguros	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Promoción de seguros frente a inundación sobre personas y bienes, incluyendo los seguros agrarios</li> </ul>
Medidas estructurales y estudios coste-beneficio que las justifican	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Medidas estructurales para regular los caudales, tales como la construcción y/o modificación de presas exclusivamente para defensa de avenidas</li> <li>- Medidas estructurales (encauzamientos, motas, diques, etc.) que implican intervenciones físicas en los cauces y áreas propensas a inundaciones</li> <li>- Medidas que implican intervenciones físicas para reducir las inundaciones por aguas superficiales, por lo general, aunque no exclusivamente, en un entorno urbano, como la mejora de la capacidad de drenaje artificial o sistemas de drenaje sostenible (SuDS)</li> <li>- Obras de emergencia para reparación de infraestructuras afectadas, incluyendo infraestructuras sanitarias y ambientales básicas</li> </ul>

Fig. 06: Correlación entre las medidas generales del RD 903/2010 y las establecidas en el PGRI Cantábrico Occidental.

- **Marco estratégico**

- **La Agenda 2030**, adoptada por los líderes mundiales en la Cumbre para el Desarrollo Sostenible de Naciones Unidas celebrada en Nueva York en 2015, incluye 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible y 169 metas. La resiliencia ejerce un papel central en este nuevo paradigma hacia un modelo de desarrollo sostenible social, económica y ambientalmente que España debe desarrollar en virtud de su Agenda 2030. Si bien surgen desde una visión universal, indivisible e interrelacionada, cuatro de los objetivos hacen referencia directa al riesgo de inundación:



Fig. 07: Objetivos de desarrollo sostenible 6, 11, 13 y 15. Organización de las Naciones Unidas.

- **La Agenda Urbana Española**, Presentada por el Ministerio de Fomento en 2019, persigue el logro de la sostenibilidad en las políticas de desarrollo urbano a través de un Decálogo de Objetivos Estratégicos desplegados en 291 líneas de actuación, y se inspira en la Nueva Agenda Urbana, impulsada en la Conferencia de Naciones Unidas sobre la Vivienda y el Desarrollo Urbano Sostenible “*Hábitat III*” celebrada en Quito en 2016, que plantea un compromiso por trabajar a favor de un nuevo paradigma urbano orientado a la sostenibilidad. Entre sus objetivos estratégicos figura “*Prevenir y reducir los impactos del cambio climático y mejorar la resiliencia*”.



Fig. 08: Objetivos estratégicos de la Agenda Urbana Española. Ministerio de Fomento.

## 2. ANTECEDENTES Y PROBLEMÁTICA

El edificio estudiado se halla expuesto al desbordamiento del arroyo Peñafrancia, afluente del Piles. La ocupación de la zona inundable, así como un modelo de urbanización y movilidad orientado al automóvil, que genera obstáculos adicionales e impermeabiliza el terreno, han generado condiciones de elevada vulnerabilidad. Esta situación se ve agravada por el aumento de la duración y frecuencia de los eventos tormentosos intensos debido al cambio climático.



Fig. 09: Comparativa Vuelo Nacional 1980-1986 y PNOA 2017. Instituto Geográfico Nacional.

- **Episodios recientes**

- **El 11 de junio de 2018** el edificio polivalente de la de la Escuela Politécnica de Ingeniería de Gijón sufrió una inundación derivada del desbordamiento del arroyo, las fuertes precipitaciones in situ y la subida del nivel freático debido al volumen de agua acumulado tras lluvias prolongadas. Hasta 80 centímetros de agua inundaron la planta baja del edificio, afectando a 7 de sus 10 módulos. El episodio generó unos daños estimados en 4.500.000 €. Hasta el momento (marzo de 2020) se han invertido en la recuperación 2.700.000 € abonados por el Consorcio de Compensación de Seguros, además de 300.000 € de fondos propios.



Fig. 10: Inundación en la EPI Gijón en junio de 2018. Universidad de Oviedo.

Se produjeron otros desbordamientos puntuales del arroyo Peñafrancia en junio de 2010, noviembre de 2013 y enero de 2019, aunque ninguno de estos afectó a la escuela.

- **Escalas de intervención**

El enfoque multiescalar de la resiliencia plantea una interacción entre el sistema social y el sistema ecológico basada en la protección de las actividades humanas y del ecosistema, para mantener la funcionalidad de ambos generando además nuevos beneficios ambientales, económicos y sociales. Se proponen transformaciones lentas a nivel global, complementadas con medidas que reduzcan el riesgo ante eventos para los que, en condiciones actuales, no existe capacidad de respuesta.

- **A escala de cuenca hidrográfica**, el edificio se sitúa en el Área con Riesgo Potencial Significativo de Inundación ES018-AST-42-1, correspondiente al río Piles. Este curso fluvial transcurre íntegramente por el concejo de Gijón, alimentándose de diversos afluentes, como el arroyo Peñafrancia, en una cuenca de 73 km<sup>2</sup>.

El elevado número de cuencas independientes del Cantábrico dificulta los sistemas de alerta temprana. Las predicciones de avenidas se apoyan casi exclusivamente en los pronósticos meteorológicos, que pueden reducir ampliamente las consecuencias de las inundaciones, pero están sujetos a un elevado grado de incertidumbre debido a las características de los cauces de montaña. La intensa urbanización de los valles y la canalización de los cauces han reducido la inundación de las llanuras aluviales e incrementado la magnitud de las crecidas en las zonas bajas de los ríos. En el caso de las ciudades costeras ubicadas en las desembocaduras, la intensidad de las tormentas y la concentración de las actividades humanas agravan el problema.

- **A escala urbana**, existen diversos problemas de carácter irreversible, y otros que requieren importantes operaciones de cirugía urbana destinadas a devolver espacio al río. Para valorar la viabilidad de estas, es precisa una evaluación rigurosa de los beneficios y costes, incorporando nuevos indicadores cuantitativos y cualitativos desde una perspectiva de gestión integrada.

La presencia de obstáculos artificiales, la alteración del ciclo natural del agua y el estrechamiento de la zona inundable son factores que pueden interferir en el comportamiento del arroyo: elementos que pueden generar taponamientos y embalsamientos (existencia de tres puentes sobre el arroyo Peñafrancia en el entorno inmediato del edificio), superficies impermeabilizadas destinadas a aparcamiento y viario (zonas A y B) que reducen significativamente la cantidad de agua infiltrada al terreno de forma que la escorrentía se dirige a la zona inundable con rapidez, o la superficie de laminación (zona C) que en la actualidad no ejerce esa función, ya que los rellenos artificiales asociados a las obras del Metrotrén Asturias han modificado la pendiente.



Fig. 11: Entorno de la EPI Gijón.



Fig. 12: Entorno de la EPI Gijón: arroyo Peñafrancia y puentes.



Fig. 13: Entorno de la EPI Gijón: aparcamientos y viarios (superficies impermeabilizadas).

- **A escala arquitectónica**, las acciones encaminadas a minimizar la cantidad de agua que entra en las construcciones (evitar y resistir) y a mitigar los daños una vez ha entrado (tolerar) permiten reducir de forma muy significativa la vulnerabilidad de las zonas ocupadas. De forma paralela y complementaria a otras acciones de mayor escala y alcance, estas medidas juegan un papel decisivo en la reducción de las consecuencias de las inundaciones y el aumento de la resiliencia.

Especial relevancia adquieren edificios que albergan equipos e instalaciones de coste elevado, como es el caso de los **CENTROS DE INVESTIGACIÓN**. Además de las consecuencias ambientales (posible vertido de sustancias contaminantes) y sociales (interrupción de las actividades), las inundaciones generan en esta tipología un impacto económico muy elevado, y los análisis beneficio/coste de las estrategias de adaptación arrojan resultados muy favorables.

### 3. FICHA DE LA EDIFICACIÓN

<b>NOMBRE</b>	<i>Edificio Polivalente Escuela Politécnica de Ingeniería de Gijón</i>
<b>DIRECCIÓN</b>	<i>Carretera de Castiello-Bernueces 177, Gijón. Asturias</i>
<b>REFERENCIA CATASTRAL</b>	<i>7126701TP8272N0001FK</i>
<b>FECHA DE LA REUNIÓN</b>	<i>28/11/2019</i>
<b>CONTACTO</b>	<i>Vicerrectorado de Recursos Materiales y Tecnológicos Universidad de Oviedo</i>

### 4. DESCRIPCIÓN DE LA EDIFICACIÓN

Construido en 1977, el edificio polivalente de la Escuela Politécnica de Ingeniería de Gijón es un edificio de planta circular organizado en peine cuyos principales materiales de construcción son los prefabricados de hormigón y metal. Los usos generales se concentran en la parte central y los usos particulares se desarrollan en diez módulos (un primer módulo de cuatro alturas seguido de nueve módulos de dos alturas). En el exterior, la pendiente descende progresivamente entre los módulos 2 y 5, salvando una altura de 4.5 metros. A continuación, se mantiene uniforme hasta el módulo 10, donde se recupera dicha cota mediante una escalera.

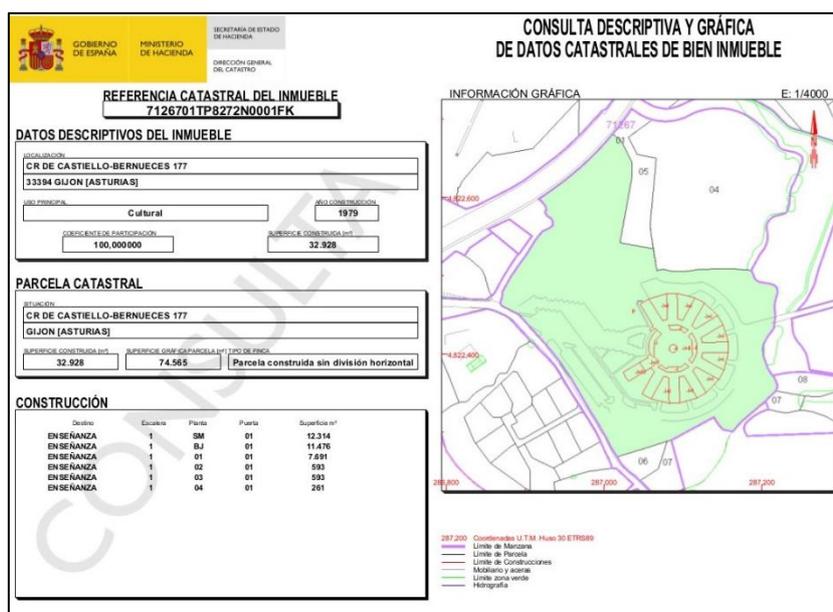


Fig. 14: EPI Gijón: consulta descriptiva y gráfica de datos catastrales de bien inmueble. Ministerio de Hacienda.

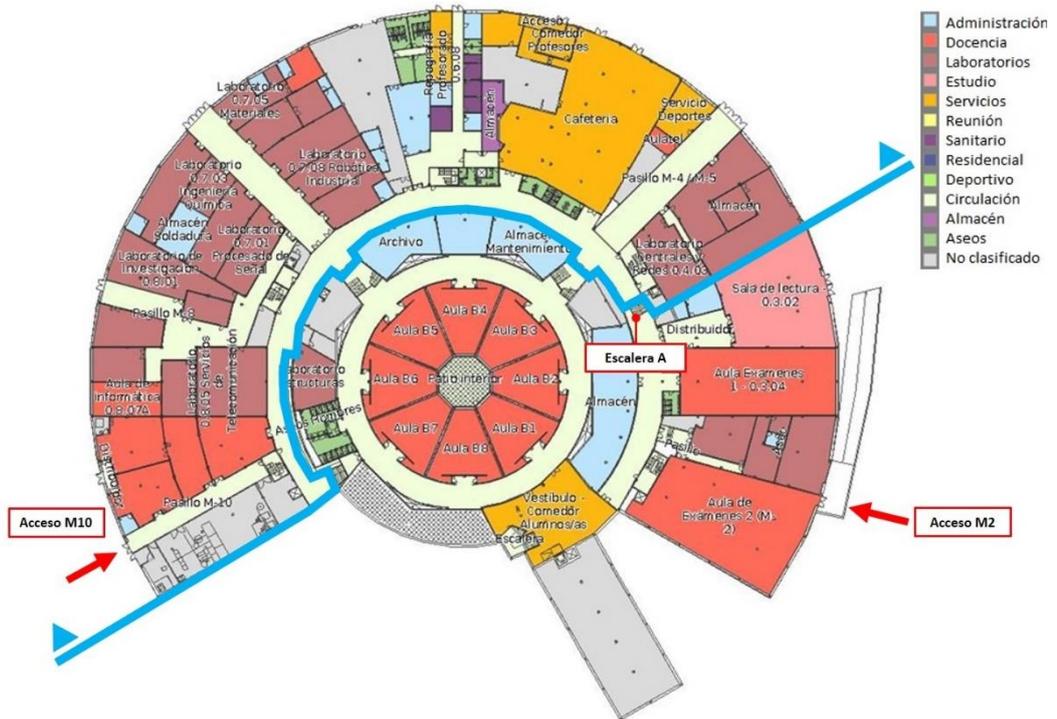


Fig. 15: Planta baja de la EPI Gijón: zona afectada por la inundación en junio de 2018. Universidad de Oviedo.



Fig. 16: Límites de la zona inundable (T=500) en el exterior del edificio (accesos M2 y M10), y límite de la zona afectada por la inundación en junio de 2018 en el interior del edificio (escalera A).

## 5. PELIGROSIDAD POR INUNDACIÓN

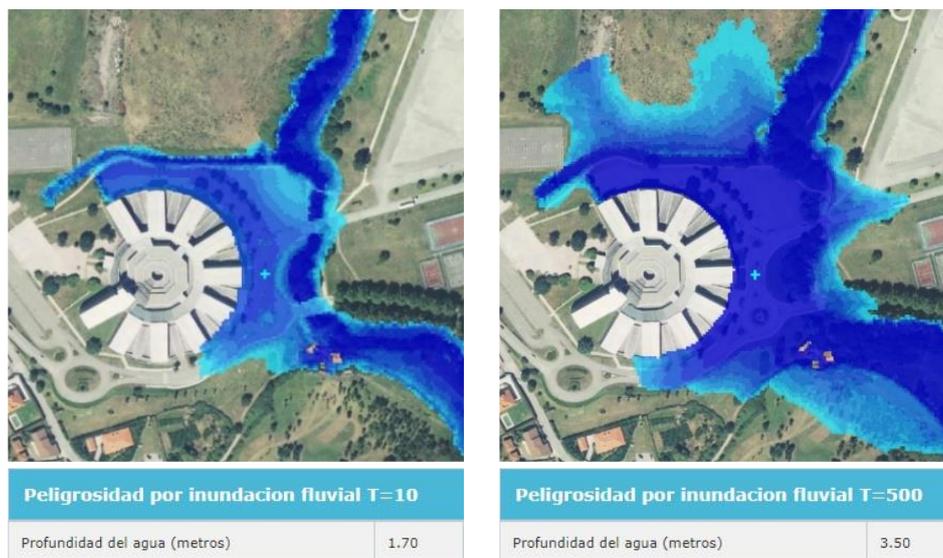


Fig. 17: Peligrosidad T=10 (probabilidad alta) y T=500 (baja). SNZCI. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.

- **Procedencia del agua**
  - **Desbordamiento**

El edificio polivalente de la de la Escuela Politécnica de Ingeniería de Gijón se sitúa en zona inundable. La altura de calado en el punto más desfavorable alcanza los 1.70 m para T=10, y los 3.50 m para T=500.

Procedencia del agua: desbordamiento del arroyo Peñafrancia y entrada de agua en el edificio a través de huecos (puertas, ventanas, juntas y rejillas de ventilación), red de saneamiento y cámara bajo forjado sanitario.

Líneas de actuación: evitar que el agua alcance el edificio mediante soluciones continuas que aislen su perímetro de forma temporal o permanente, o bien resistir la entrada de agua mediante un amplio programa de medidas puntuales.

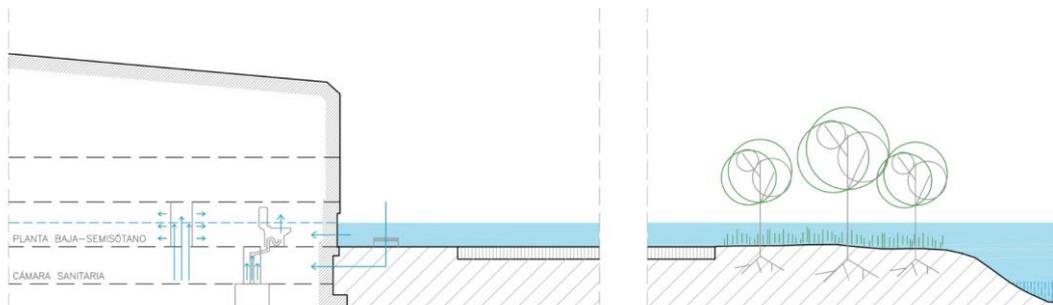


Fig. 18: Agua procedente del desbordamiento del arroyo.

- **Nivel freático**

El edificio está separado del terreno mediante pilares, generando una cámara bajo forjado sanitario. Se evita así el contacto directo con el terreno, reduciendo las posibilidades de que el agua ascienda por capilaridad. Sin embargo, la subida del nivel freático asociada a importantes volúmenes de agua acumulados por inundaciones prolongadas o fenómenos lluviosos de larga duración puede provocar el afloramiento de humedades y generar daños en el edificio.

Procedencia del agua: subida del nivel freático debido a inundaciones o lluvias.

Líneas de actuación: mejorar los sistemas permanentes de drenaje y bombeo.



Fig. 19: Agua procedente del nivel freático.

○ **Escorrentía**

La incapacidad del terreno para drenar grandes cantidades de agua y el elevado grado de impermeabilización del suelo generan inundaciones pluviales por el efecto acumulativo de las precipitaciones. En el caso de la Escuela Politécnica de Ingeniería de Gijón, la diferencia de cota propicia además la acumulación de agua procedente de la parte elevada al no haber sido detenida, ralentizada, almacenada e infiltrada in situ.

Procedencia del agua: escorrentía (aparcamiento y viario impermeabilizados).

Líneas de actuación: implantar sistemas urbanos de drenaje sostenible, en particular pavimentos permeables, zanjas drenantes y franjas de vegetación.

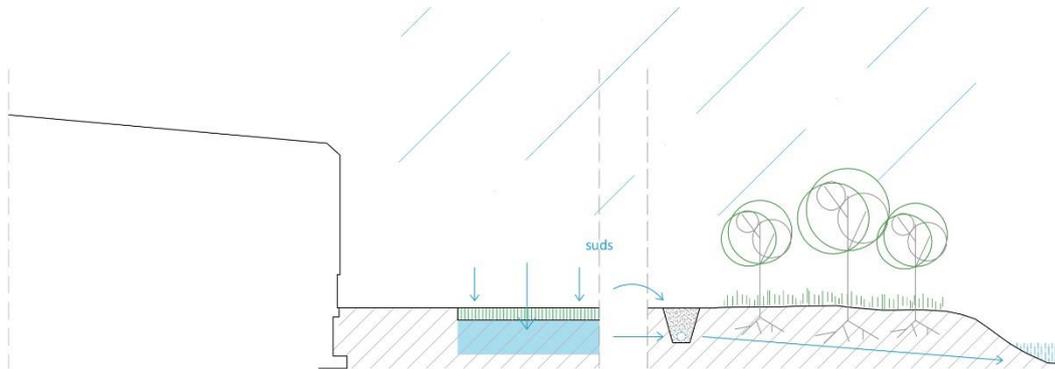


Fig. 20: Agua de lluvia procedente del entorno del edificio.

○ **Cubierta**

Las cubiertas inclinadas del edificio vierten el agua de lluvia directamente al arroyo mediante una red separativa compuesta por bajantes situadas en el perímetro del edificio, por lo que no plantean problemas. Sin embargo, las cubiertas planas evacúan a través de la red unitaria, que atraviesa el edificio y puede colapsar ante eventos de gran magnitud.

Procedencia del agua: fenómenos lluviosos de larga duración o eventos de corta duración, pero elevada intensidad.

Líneas de actuación: implantar cubiertas vegetales, aljibes y sistemas de vertido directo hacia el exterior en las cubiertas planas.

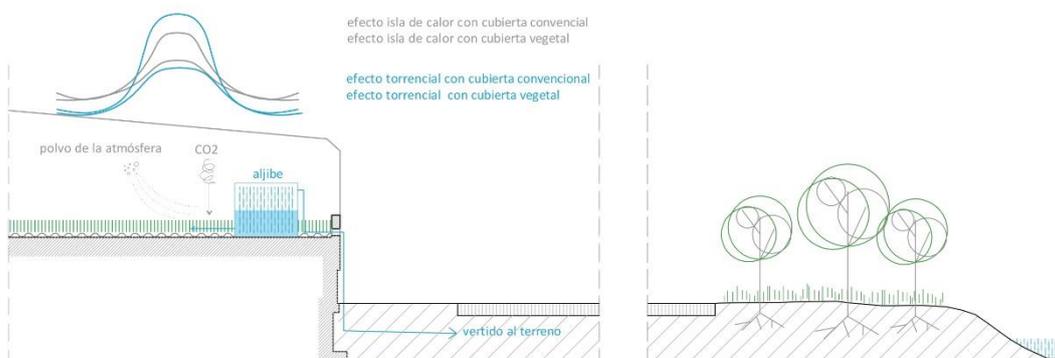


Fig. 21: Agua de lluvia procedente de la cubierta del edificio.

- **Principales puntos de entrada de agua**

Para reducir la probabilidad de que el interior de un edificio se inunde es fundamental identificar los posibles puntos de entrada del agua. Las rutas que esta tome dependerán de la altura alcanzada, el tipo de construcción y las condiciones del terreno.

En el caso de la EPI Gijón, la entrada se produce a través de los huecos en fachada (puertas, ventanas, juntas y rejillas de ventilación). A esto hay que añadir el retorno a través de la red de saneamiento debido a la ubicación de la acometida en zona inundable, y el ascenso por presión a través de los patinillos de instalaciones debido a la inundación de la cámara bajo forjado sanitario. Esta posee un sistema permanente de bombeo para drenar el agua procedente del nivel freático y la escorrentía del entorno, pero el desbordamiento del río genera su inundación repentina a través del acceso, el sistema de ventilación y el arrastre del terreno circundante. El agua asciende por presión a través de los patinillos de instalaciones para igualar su cota a la del exterior del edificio (vasos comunicantes), generando daños de gran magnitud distribuidos por toda la planta. Se produce asimismo el desplazamiento de arquetas y la rotura de tuberías.



Fig. 22: EPI Gijón: principales puntos de entrada de agua desde el exterior.



Fig. 23: Daños en cámara bajo forjado sanitario tras la inundación en junio de 2018. Universidad de Oviedo.



Fig. 24: Daños en patinillos de instalaciones tras la inundación en junio de 2018. Universidad de Oviedo.

- **Daños potenciales**

El episodio del 11 de junio de 2018 generó pérdidas estimadas en 600.000 euros en el edificio, incluyendo desperfectos en pavimentos, paramentos, puertas y diversas instalaciones.



Fig. 25: Daños en pavimentos, paramentos, puertas e instalaciones tras la inundación en junio de 2018. Universidad de Oviedo.

Gran parte de las pérdidas económicas correspondieron a los equipos de investigación. Los laboratorios de Teoría de la Señal (en particular la cámara anecoica), Ingeniería Eléctrica, Ingeniería Mecánica, Soldadura, Ciencia de Materiales, Robótica Industrial, entre otros, se situaban en la planta baja. La mayor parte de ellos han sido trasladados zonas no expuestas.



Fig. 26: Laboratorio de teoría de la señal e ingeniería eléctrica. El Comercio.

En relación con los daños derivados del cese de actividad, aunque la docencia se reanudó el 1 de septiembre, se produjeron importantes pérdidas indirectas, difícilmente cuantificables, debido a la interrupción de proyectos de investigación y al incumplimiento de compromisos.

## 6. PROPUESTAS DE ADAPTACIÓN

- **Medidas generales de autoprotección**

La Norma Básica de Autoprotección define esta como *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*. Las siguientes actuaciones son medidas generales aplicables a todas las edificaciones situadas en zona inundable:

¿Qué hacer para estar preparado en caso de inundación?

- **Proteger a las personas**
  - Identificar los teléfonos de emergencia y darse de alta en servicios de alertas de inundación: Protección Civil, Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), Sistema Automático de Información Hidrológica (SAIH) de la Confederación Hidrográfica del Cantábrico Occidental, medios de comunicación, redes sociales y apps.
  - Contratar una póliza de seguros de la propiedad, actividades y vehículos.
  - Contar con un Plan de Autoprotección y practicar la evacuación.
  - Familiarizarse con el PEMUGI (Plan de Emergencias Municipal de Gijón) y el PLANINPA (Plan Especial de Protección Civil ante el riesgo de inundaciones en el Principado de Asturias).

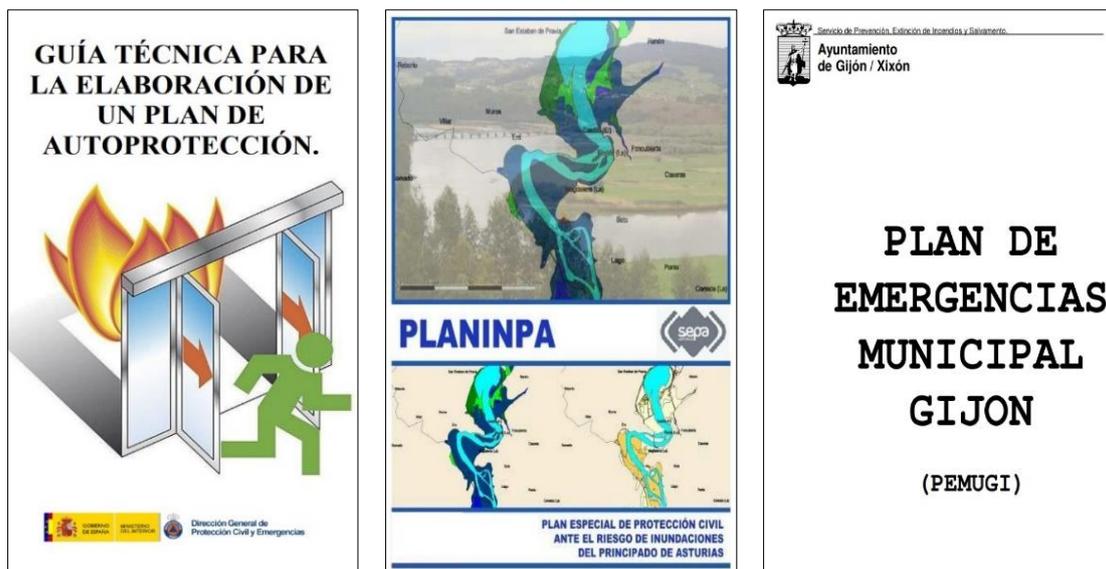


Fig. 27. Guía técnica de elaboración de un Plan de Autoprotección. Dirección General de Protección Civil y Emergencias. PLATEMUN (Plan Territorial de Emergencia Municipal). Ayuntamiento de Cebolla.

- **Proteger la edificación y su equipamiento**

- Identificar los puntos débiles del edificio por los que puede entrar el agua.
- Realizar el diagnóstico de daños potenciales.
- Identificar posibles soluciones para reducir la vulnerabilidad del edificio y su contenido.
- Averiguar dónde obtener barreras temporales, sistemas antirretorno, bombas de achique y sistemas de alimentación ininterrumpida, y practicar su instalación.

¿Qué hacer si se espera una inundación en la zona y se dispone de tiempo de reacción?

- a. Estar informado de la evolución de la inundación y atento a los avisos de evacuación.
- b. Revisar las vías de evacuación evitando obstáculos.
- c. Revisar la red de drenaje evitando taponamientos.
- d. Instalar barreras temporales en las zonas por las que puede entrar el agua.
- e. Instalar sistemas antirretorno para evitar el reflujo de aguas residuales.
- f. Apagar los suministros de electricidad, agua y gas.
- g. Desconectar los equipos eléctricos y desplazarlos a zonas seguras.
- h. Retirar muebles, alfombras y cortinas, y asegurar los elementos sueltos.
- i. Colocar los productos contaminantes fuera del alcance del agua.
- j. Desplazar los coches fuera de la zona de riesgo de inundación con el primer aviso.
- k. Seguir las indicaciones de las autoridades.

- **Mitigación de daños en la edificación**

La guía de “Recomendaciones para la construcción y rehabilitación de edificaciones en zonas inundables” establece recomendaciones generales para la adaptación, que se resumen en **EVITAR** que el agua entre en contacto con el edificio, **RESISTIR** el contacto con el agua en caso de que se produzca la inundación exterior, y **TOLERAR** la entrada de agua de manera controlada en ciertas zonas del edificio cuando no sea posible evitar y resistir, implementando medidas que minimicen los daños. En los casos extremos se estudiaría la posibilidad de **RETIRAR** el edificio.

<b>1. EVITAR</b> que el agua alcance el edificio	1.1 ADECUACIÓN DEL ENTORNO
	1.2 BARRERAS PERMANENTES
	1.3 BARRERAS TEMPORALES
<b>2. RESISTIR</b> la entrada de agua en el edificio	2.1 IMPERMEABILIZACIÓN
	2.2 PROTECCIÓN DE HUECOS
<b>3. TOLERAR</b> la inundación adaptando el interior	3.1 INSTALACIONES
	3.2 ORGANIZACIÓN ESPACIAL
	3.3 ESPACIOS SEGUROS
<b>4. RETIRAR</b> el edificio de la zona inundable	4.1 ELEVACIÓN
	4.2 TRASLADO
	4.3 ABANDONO/DEMOLICIÓN

Fig. 28: Criterios de actuación en edificios existentes. Recomendaciones para la construcción y rehabilitación de edificaciones en zonas inundables. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. 2019.

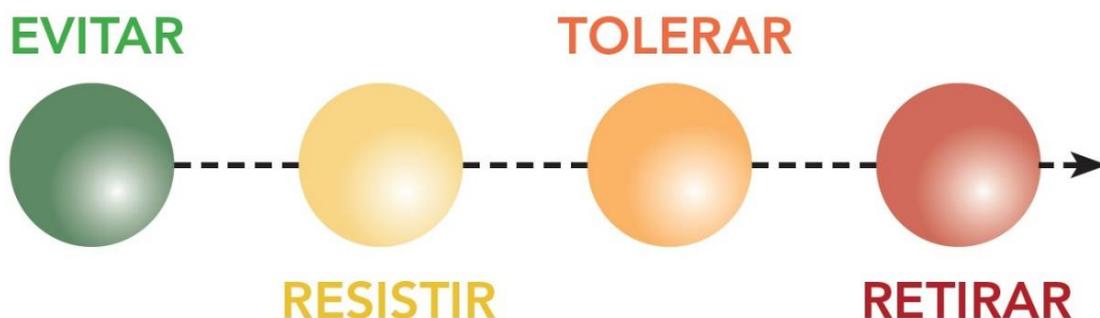


Fig. 29: Metodología para la mitigación de daños en la edificación. Guía para la reducción de la vulnerabilidad de los edificios frente a las inundaciones. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. Ministerio de Economía, Industria y Competitividad. Consorcio de Compensación de Seguros. 2017.

Se plantea la implementación un plan de contingencia basado en la capacitación específica del personal, la monitorización constante del cauce del río y una serie de medidas de autoprotección:

- De forma preferente, se proponen estrategias basadas en **EVITAR** que el agua alcance el edificio mediante soluciones continuas que aislen su perímetro.
- Si estas soluciones no fuesen viables, se propone una estrategia orientada a **RESISTIR**. Aceptando que el agua alcanzará el edificio, los posibles puntos de entrada son múltiples: gran parte de la fachada está acristalada, existen puertas, ventanas y rejillas de ventilación; además de la problemática asociada a la red de saneamiento y a la cámara bajo forjado sanitario. Esto implica un programa de medidas muy complejo, y en caso de que alguna intervención falle o aparezcan puntos de entrada imprevistos, toda la propuesta quedará invalidada y el agua podrá entrar en el edificio a gran velocidad ante un evento extremo.
- Ante eventos extremos, se propone **TOLERAR** la entrada de agua, minimizando los daños mediante la reubicación de los equipos más costosos en plantas superiores no expuestas, y asumiendo los costes indirectos derivados de la interrupción de la actividad. Es preciso elevar, reubicar o proteger las instalaciones de coste más elevado, como los talleres y laboratorios, las salas de máquinas o el centro de transformación.
- La estrategia basada en **RETIRAR** el edificio se descarta por sus costes inasumibles y por las diversas posibilidades de adaptación existentes.

- **Medidas orientadas a EVITAR que el agua alcance el edificio**

Se proponen varias alternativas de actuación que eviten el contacto del agua con el edificio en caso de avenida a través de soluciones continuas que aislen su perímetro (barreras temporales, barrera permanente integrada en el paisaje y ampliación).

Para solucionar posibles entradas de agua a través de otras vías, en particular la subida del nivel freático, la escorrentía o la red de saneamiento, todas las alternativas deberán completarse con las siguientes medidas:

- Sellado de los patinillos de instalaciones.
- Mejora de los sistemas permanentes de drenaje y bombeo.
- Instalación de sistemas antirretorno en la acometida de la red de saneamiento.

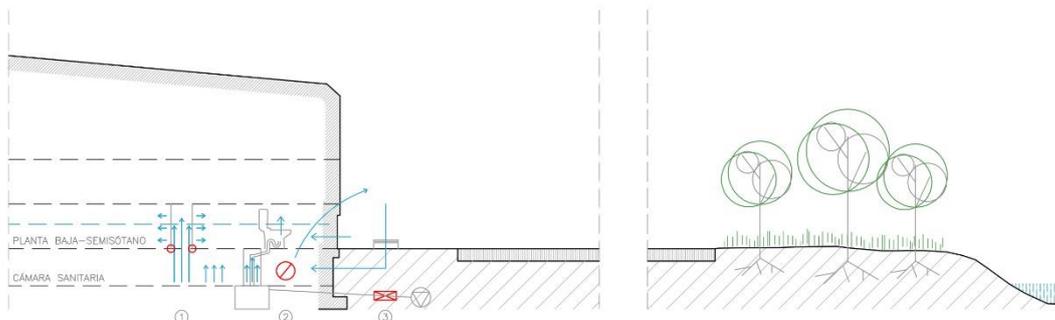


Fig. 30: Medidas generales: 1 sellado de los patinillos de instalaciones, 2 mejora de los sistemas permanentes de drenaje y bombeo, 3 instalación de sistemas antirretorno en la acometida de la red de saneamiento.

○ **Alternativa 1: barreras temporales**

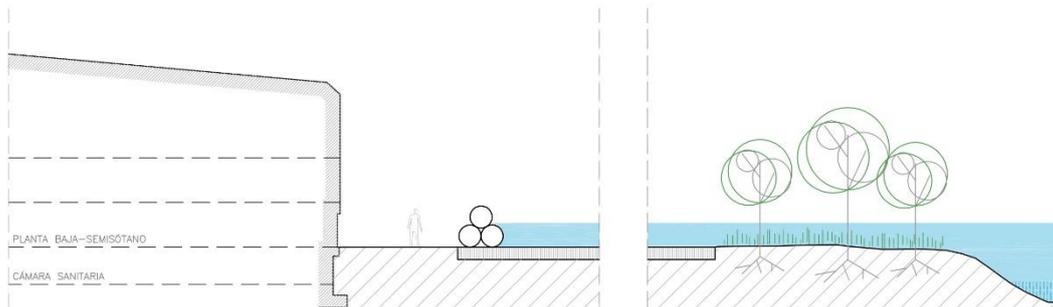


Fig. 31: Alternativa 1: barreras temporales.

Con el fin de aislar el edificio y evitar que el agua lo alcance en caso de avenida, se propone la instalación de barreras temporales inflables en el espacio comprendido entre los módulos 4 y 10. La solución se plantea para una longitud de 300 metros, mediante tres módulos de 100 metros sujetos a cuatro elementos de anclaje permanentes. Se protege así el perímetro afectado por la inundación del periodo de retorno de 10 años, cubriendo la cota  $h=1.70$  metros y eliminando de forma teórica el riesgo ante las crecidas de probabilidad alta.

Este tipo de barreras se inflan con aire mediante un compresor y se desinflan y almacenan de forma sencilla después de la inundación. El sistema utiliza el propio peso del agua para conseguir una alta estanqueidad y un eficaz anclaje a la superficie, y destaca por su alta versatilidad, ya que se monta sobre cualquier superficie. El diámetro máximo disponible es un metro. Existen también modelos inflables con agua mediante una bomba, que pueden apilarse y proteger frente a calados superiores.

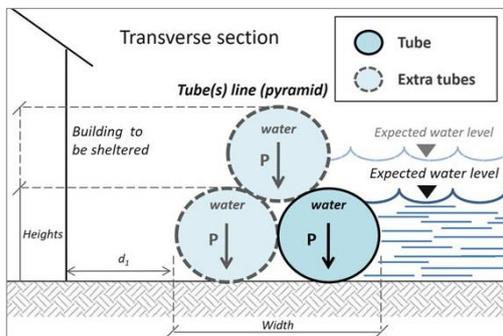
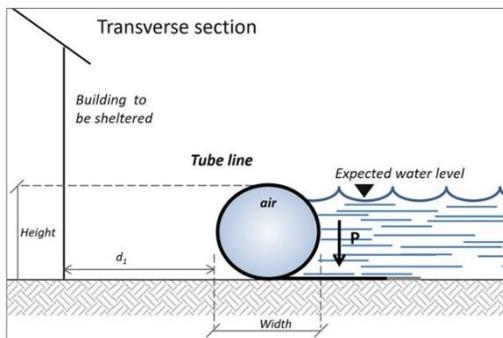


Fig. 32: Ejemplos de barreras temporales inflables. Flood proofing in urban areas. 2019.

○ **Alternativa 2: barrera permanente integrada en el paisaje**

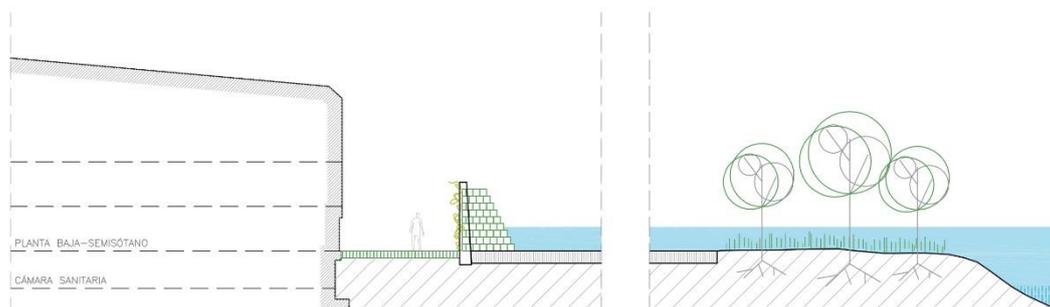


Fig. 33: Alternativa 2: barrera permanente integrada en el paisaje.

Se propone una barrera permanente integrada en el paisaje entre los módulos M4 y M10, a partir de un muro de hormigón de 1.70 metros de altura y 300 metros de longitud, que aúne soluciones propias de la ingeniería con otras basadas en la naturaleza. Se busca una solución mixta que evite el contacto del edificio con el agua, pero mitigue las consecuencias del estrechamiento del cauce y el aumento la energía del río, para que esta no sea conducida a tramos no defendidos.

De cara al edificio (cara interna), la intervención responde como un muro de contención, permitiendo además la creación de zonas de circulación y estancia asociadas a la cafetería y los talleres.

De cara al entorno (cara externa), se plantea la incorporación de vegetación junto con otros materiales naturales (madera, mantas y redes orgánicas, rocas, etc.) y otros sintéticos (redes, geomallas, geotextiles, etc.), incorporando y aprovechando tanto el suelo como la topografía.

En los puntos en los que el muro se interrumpe para permitir el acceso al edificio será necesario prever la instalación de barreras temporales, calculadas y diseñadas para soportar tanto la presión como los posibles impactos de elementos arrastrados. Preferiblemente serán automáticas y activadas por presión del agua, ya que estas no requieren anticipación ni personal para su montaje.

Al plantearse en zona de flujo preferente, esta actuación deberá apoyarse en las correspondientes pruebas de modelización hidráulica.



Fig. 34: Ejemplos de barreras permanentes integradas en el paisaje.

○ **Alternativa 3: ampliación del edificio**

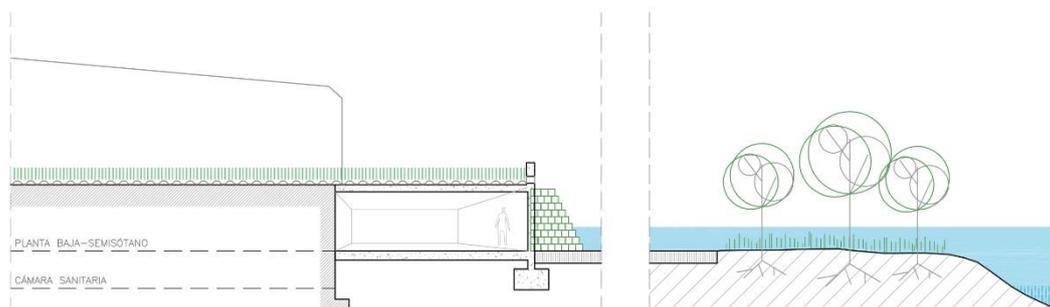


Fig. 35: Alternativa 3: ampliación del edificio.

Adicionalmente, se propone una intervención de mayor envergadura, consistente en una ampliación del edificio, resiliente a inundaciones y en forma de corredor perimetral. La intervención abarca la zona afectada por la inundación del periodo de retorno de 500 años (módulos M2 a M10). Al realizarse con una altura superior a la cota  $h=3.50$  m, se elimina de forma teórica el riesgo de inundación ante crecidas de probabilidad baja, y se proporciona además más superficie útil a la escuela.

La ampliación surge de la prolongación de las cubiertas planas existentes, y propone la instalación de cubiertas vegetales y aljibes que almacenen el agua de lluvia. Pese al coste económico de esta intervención, se valoran sus efectos positivos a nivel ambiental, aunque es preciso tener en cuenta las cargas que el nuevo sustrato genera en la cubierta existente y evaluar si está preparada para soportarlo.

Aunque se trata de una solución exportable a otros escenarios, en este caso, al hallarse en zona de flujo preferente, estará sujeta a las limitaciones que se desprenden del Real Decreto 638/2016, de 9 de diciembre.

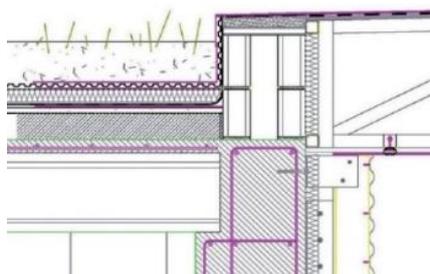


Fig. 36: Detalle de cubierta vegetal. Grupo Tragsa.

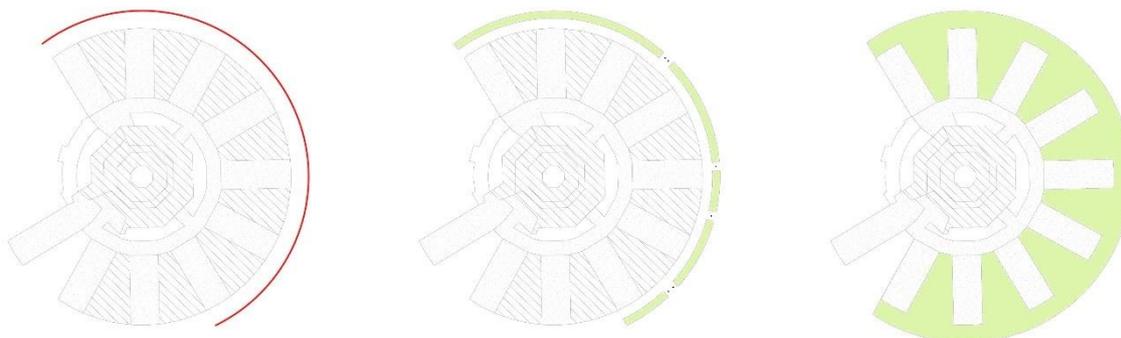


Fig. 37: Comparativa entre barrera temporal, barrera permanente integrada en el paisaje y ampliación del edificio.

- **Medidas orientadas a RESISTIR la entrada de agua en el edificio**

Si las alternativas orientadas a evitar que el agua alcance el edificio no fuesen viables, se propone un conjunto de medidas para resistir su entrada y reducir los daños ante avenidas pequeñas:

- Acciones en los puntos de entrada de agua
- Sellado de los patinillos de instalaciones
- Mejora de los sistemas permanentes de drenaje y bombeo
- Instalación de sistemas antirretorno en la acometida de la red de saneamiento

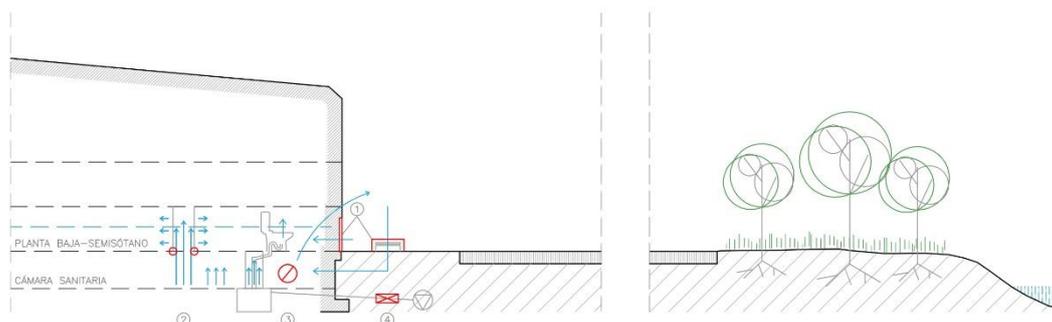


Fig. 38: Medidas generales: 1 acciones en los puntos de entrada de agua, 2 sellado de los patinillos de instalaciones, 3 mejora de los sistemas permanentes de drenaje y bombeo, 4 instalación de sistemas antirretorno en la acometida de la red de saneamiento.

- **Acciones en los puntos de entrada de agua**

Se propone la instalación de barreras temporales en todos los accesos al edificio situados en zona inundable. Requieren disponer del tiempo suficiente para su montaje, y técnicos con conocimientos y capacidad física para su instalación. El material debe almacenarse en un lugar fácilmente accesible y conocido por los usuarios, siendo recomendable, además, la realización de pruebas de montaje con relativa frecuencia. La altura debe ser superior a la cota máxima de inundación que se busque proteger, y se deben tener en cuenta la presión hidrostática y la posibilidad de recibir impactos de los elementos arrastrados por el agua.



Fig. 39: Ejemplos de barreras temporales: desmontables, apilables, deslizantes o abatibles. Flood Control International.

Se proponen los siguientes modelos, o equivalentes:

**- Barrera temporal FLOODGATE:**

Dispositivo de bloqueo temporal compuesto por un marco de acero de 2.5 cm de grosor que se expande en el plano horizontal y vertical, rodeado de una funda de neopreno que forma un sello estanco. Resulta de fácil y rápida colocación y retirada, y se adapta a un rango de medidas. Requiere un ajuste para asegurar la impermeabilidad, pero no precisa obra previa.

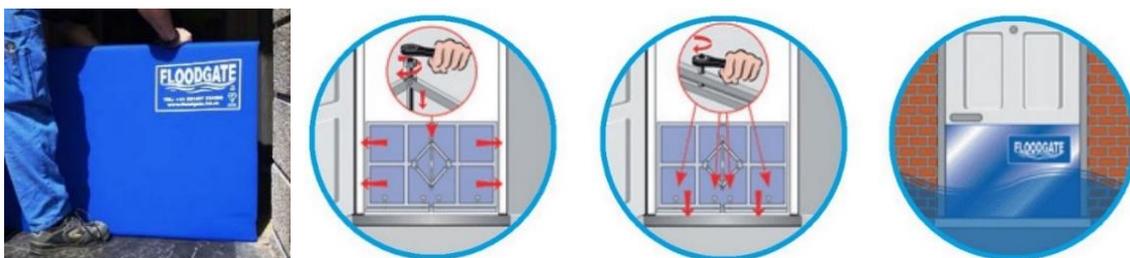


Fig. 40: Barreras temporales FLOODGATE. CAG Canalizaciones.

**- Barrera temporal DPS 2000:**

Paneles ligeros de aluminio de 20 cm de altura apilados entre guías y soportes incrustados en base de hormigón. Para su instalación se apilan y quedan sellados de forma automática, ofreciendo una seguridad máxima frente a daños mecánicos derivados de elementos arrastrados, y permitiendo alcanzar cotas elevadas.



Fig. 41: Barreras temporales DPS 2000. CAG Canalizaciones.

**- Barrera temporal SCFB (Self Closing Flood Barrier):**

Compuertas deslizantes ocultas bajo tierra y levantadas automáticamente por presión en caso de inundación. No requieren sensores ni fuente de energía. Resultan pertinentes en determinados casos, al no requerir anticipación ni personal para su montaje, si bien presentan un coste más elevado.



Fig. 42: Barreras temporales SCFB. Aggés.

El edificio cuenta con un gran número de rejillas de ventilación en fachada, que pueden ser protegidas mediante dispositivos de sellado temporal:



Fig. 43: Ejemplos de sellado temporal. Flood proofing in urban areas. 2019.

Otras acciones orientadas a resistir la entrada de agua serían la construcción de muretes de protección para salvaguardar otros posibles puntos de entrada de agua, antepechos para proteger los cerramientos vulnerables, cristales blindados para resistir el empuje del agua y los posibles impactos o el sellado permanente de huecos.

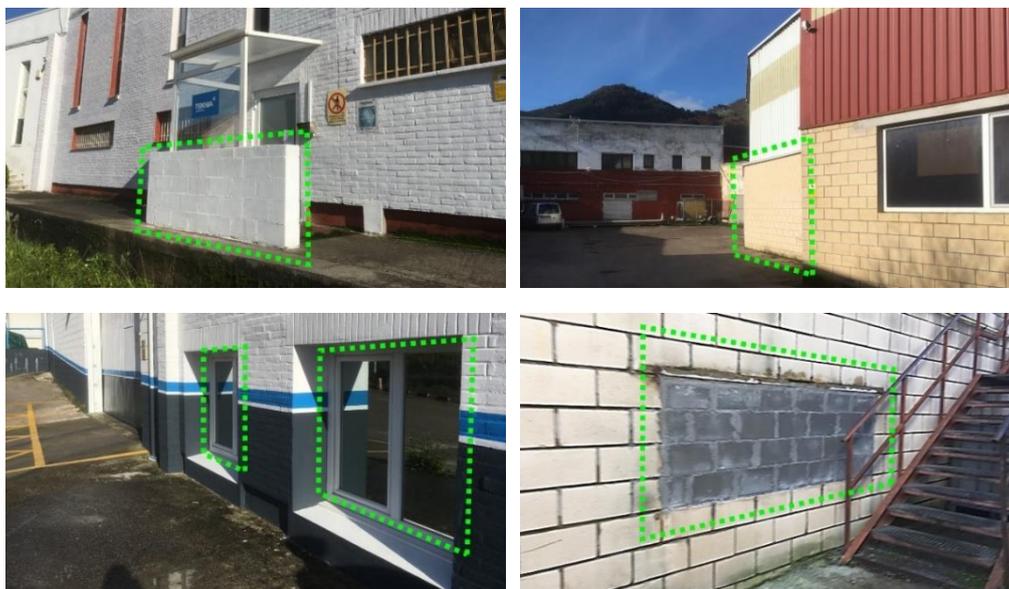


Fig. 44. Ejemplo de medidas de autoprotección en el Polígono Industrial de Marrón (Ampuero, Cantabria): muretes de protección, antepechos, cristales blindados y sellado permanente de huecos.

#### - Sellado de patinillos de instalaciones

Aunque se eliminen todos los puntos de entrada de agua a través de la fachada del edificio, en caso de avenida, la cámara bajo forjado sanitario podrá inundarse debido al arrastre del terreno. Para evitar el ascenso del agua por presión a través de los patinillos de instalaciones se propone su sellado desde el forjado sanitario mediante poliuretano, silicona o espumas expansivas.

#### - Mejora de los sistemas permanentes de drenaje y bombeo

Es recomendable disponer de bombas de achique de primer nivel que permitan evacuar el agua acumulada con eficacia y rapidez, reduciendo el tiempo de permanencia de la inundación. En el caso de las bombas eléctricas, es preciso asegurar el suministro eléctrico en caso de cortes de energía mediante sistemas de alimentación ininterrumpida.

### - Sistemas antirretorno

La instalación de sistemas antirretorno evita el reflujó de aguas residuales a través de la red de saneamiento y drenaje en caso de inundación.

Las válvulas antirretorno evitan el paso del fluido en sentido contrario al deseado. Cuando el sentido es el correcto la válvula se mantiene abierta. Cuando el fluido pierde velocidad o presión, se cierra evitando así el flujo en el sentido opuesto:



Fig. 45: Válvula antirretorno. Guía para la reducción de la vulnerabilidad de los edificios frente a las inundaciones. 2017.

Las válvulas de guillotina cortan el paso del fluido en ambos sentidos. Su accionamiento puede ser manual o automático:

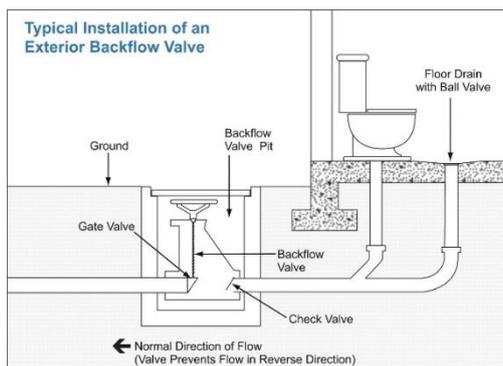


Fig. 46: Válvula de guillotina. Homeowner's Guide to Retrofitting. Six Ways to Protect Your Home From Flooding. FEMA.

En el caso de la EPI Gijón, se propone la instalación de una válvula antirretorno en la acometida de la red de saneamiento, situada en zona inundable.

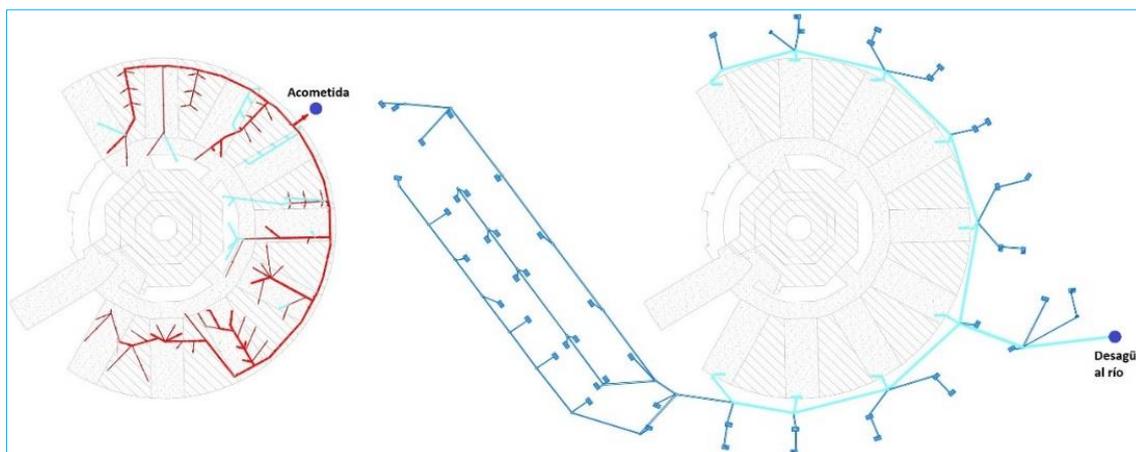


Fig. 47: EPI Gijón: red de unitaria de saneamiento y pluviales (cubiertas planas), y red separativa de pluviales (cubiertas inclinadas).

- **Mitigación de daños en el equipamiento**

Las medidas para reducir la vulnerabilidad del equipamiento de los edificios se engloban en tres tipos de acciones: **ELEVAR**, que consiste en subir el equipamiento por encima del nivel de protección; **REUBICAR**, que consiste en modificar el emplazamiento del equipamiento, generalmente a una planta superior; y **PROTEGER**, que consiste en mantener la ubicación del equipamiento, pero tomando las medidas necesarias para limitar el daño.

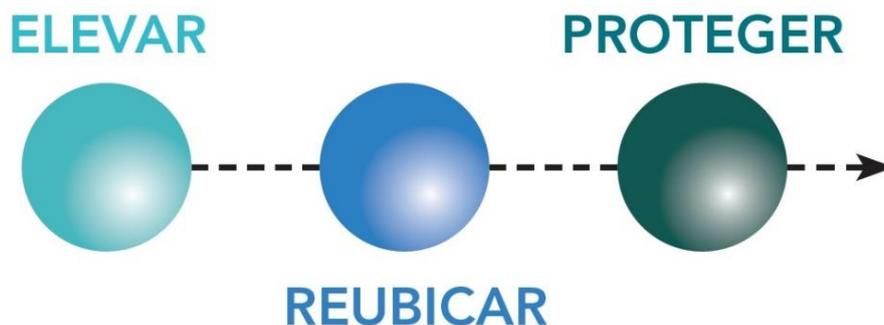


Fig. 48: Metodología para la mitigación de daños en el equipamiento. Guía para la reducción de la vulnerabilidad de los edificios frente a las inundaciones. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. Ministerio de Economía, Industria y Competitividad. Consorcio de Compensación de Seguros. 2017.

Gran parte de los elementos más vulnerables del edificio analizado se sitúan en la planta inundable. Ante eventos extremos en los que las soluciones planteadas no impidan la entrada de agua en el edificio, se plantean las siguientes medidas para minimizar los daños:

- Garantía de estanqueidad en todas las estancias vulnerables (protección de puertas, ventanas, rejillas, patinillos, etc.) garantizando la correcta ventilación.
- Elevación sobre plintos o reubicación todos los elementos de valor.
- Elevación de todos los elementos no fijos (extintores, etc.) por encima de la cota de inundación.
- Elevación de enchufes por encima del nivel de inundación para evitar daños en la instalación eléctrica, o protección mediante sistemas de cierre hermético que garanticen la estanqueidad.
- Tratamientos impermeabilizantes en puertas que eviten daños en caso de inundación, o sustitución por otras desmontables o resistentes al agua.



Fig. 49: Equipamientos vulnerables en el exterior.



Fig. 50: Equipamientos vulnerables en el interior.

- **Sistemas urbanos de drenaje sostenible**

La gestión del riesgo de inundación y la sostenibilidad ambiental son ámbitos estrechamente unidos, y los sistemas urbanos de drenaje sostenible, las infraestructuras verdes y azules o las soluciones basadas en la naturaleza o permiten articular ambas problemáticas desde una visión integral encaminada a generar paisajes resilientes.

Los sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) son una herramienta preventiva de gestión del agua de lluvia que contribuye a minimizar los efectos de las inundaciones. Su estrategia se basa en dos objetivos principales: reducir la cantidad de agua que llega al punto final de vertido, y mejorar la cantidad y calidad del agua que se vierte e infiltra al medio natural.



Fig. 51: Tipología de SUDS. Guías de adaptación al riesgo de inundación: sistemas urbanos de drenaje sostenible. 2019.

La Agenda Urbana Española propone incorporar a la gestión urbanística el concepto de infraestructuras verdes y azules: soluciones multifuncionales basadas en la naturaleza con beneficios ambientales, económicos y sociales. Como complemento a las infraestructuras grises, son útiles en la gestión del riesgo de inundación, aportando además nuevos valores. Las necesidades de mantenimiento y gestión propician la participación ciudadana y el desarrollo de actividades productivas vinculadas al ocio y la educación ambiental, contribuyendo a fijar la población al territorio e impulsando comunidades sostenibles. La valoración de su impacto requiere por lo tanto nuevos indicadores cuantitativos y cualitativos, con aportaciones procedentes de las ciencias naturales y sociales.

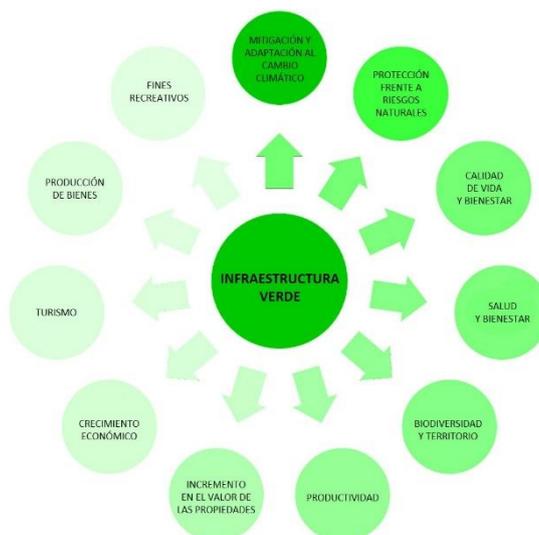


Fig. 52: Concepción multifuncional de la infraestructura verde. Adaptado de la CE (2012). Bases científico-técnicas para la Estrategia estatal de infraestructura verde y de la conectividad y restauración ecológicas. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

○ **Cubiertas verdes, pavimentos permeables, zanjas drenantes y franjas de vegetación**

Además de las cubiertas verdes en los tramos planos, son recomendables los pavimentos permeables en los aparcamientos, especialmente en la zona A, que se encuentra en una cota superior a la parte baja del edificio. Debido a las precipitaciones frecuentes con gran intensidad y la permeabilidad del terreno, se propone una solución que facilite la filtración superficial distinguiendo entre zonas de circulación de vehículos, circulación peatonal y estacionamiento. Como elementos complementarios, pueden añadirse zanjas drenantes que evacúen el agua de lluvia y franjas de vegetación para la acumulación perimetral, disminuyendo la necesidad de riego en periodos de escasas precipitaciones. De este modo, se disminuyen además el fenómeno de isla de calor y los problemas de contaminación asociados a la escorrentía.

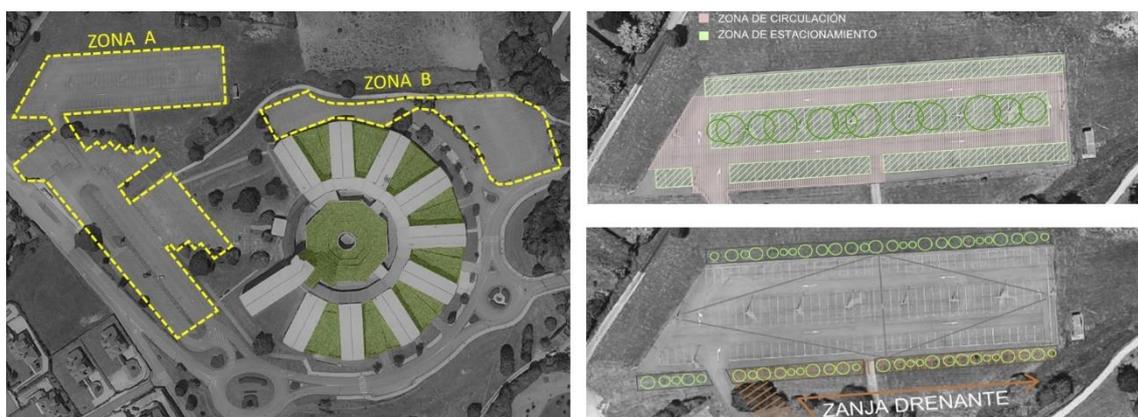


Fig. 53: Propuesta de cubiertas vegetales en la EPI Gijón, y pavimentos permeables y zanjas drenantes en zonas A y B.

○ **Corredores verdes-azules y laminación de avenidas**

Los corredores verdes-azules, a partir de la restauración de cauces naturales o su creación de manera artificial con criterios de conectividad ecológica, se justifican en la mayor capacidad de desagüe de los cursos a cielo abierto y en su valor paisajístico. La laminación de avenidas, mediante la eliminación de obstáculos y la alteración topográfica que facilite el desagüe, permite que parte del caudal quede remansado y llegue mermado a las zonas vulnerables.

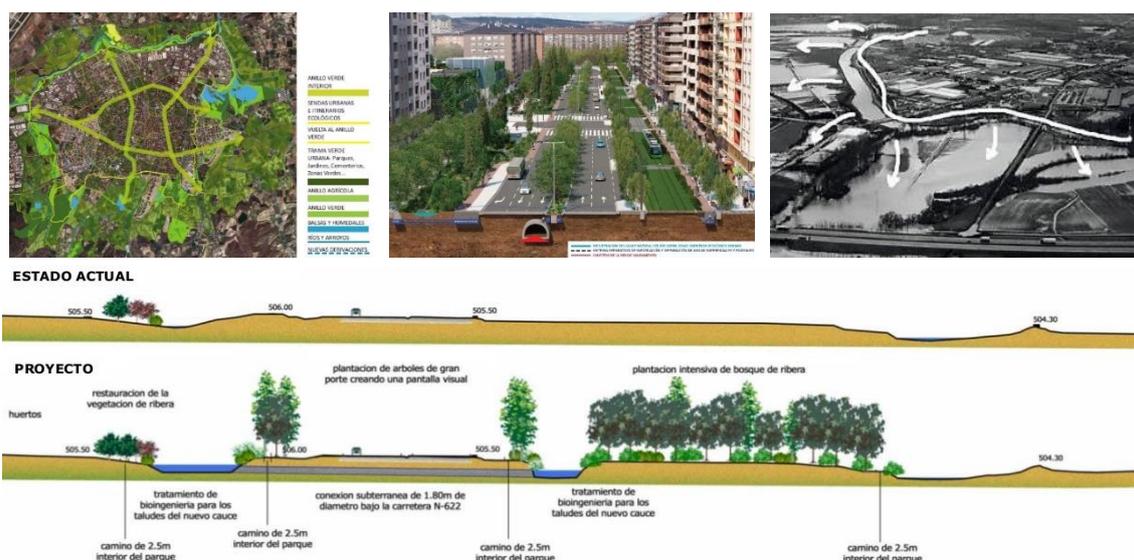


Fig. 54: Ejemplos de buenas prácticas: El anillo verde interior: hacia una infraestructura verde urbana en Vitoria-Gasteiz. Intervención en Avenida Gasteiz – Río Batán. Laminación de avenidas, adecuación hidráulica y restauración ambiental del río Zadorra. Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz.

## 7. POSIBLES FUENTES DE FINANCIACIÓN DE ESTRATEGIAS INTEGRALES

Se plantea un enfoque multiescalar de la resiliencia: transformaciones territoriales a largo plazo, complementadas con medidas inmediatas y puntuales a nivel local que hagan frente a eventos para los que, en condiciones actuales, no existe capacidad de respuesta. Para financiar este tipo de estrategias integrales, existen diversas opciones:

- La Unión Europea, en su *Programa Operativo de Crecimiento Sostenible de la Estrategia Europa 2020* incluye como uno de sus cuatro ejes prioritarios el *Desarrollo urbano integrado y sostenible*. A través de dicho programa, y con financiación procedente del *Fondo Europeo de Desarrollo Regional* (FEDER), muchos municipios están desarrollando ambiciosas **Estrategias de Desarrollo Urbano Sostenible e Integrado** (EDUSI), destinadas a ciudades o áreas funcionales urbanas de más de 20.000 habitantes.

- En el ámbito rural, la iniciativa comunitaria **LEADER**, con financiación procedente del *Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural* (FEADER), plantea luchar contra el despoblamiento a través de la diversificación de la economía y la participación activa de asociaciones, administraciones y empresas de las zonas beneficiarias, a través de Grupos de Acción Local que diseñan y ejecutan sus programas de desarrollo rural.

- **Acciones Urbanas Innovadoras** (UIA) es otra iniciativa europea que proporciona a áreas urbanas de más de 50.000 habitantes (o a agrupaciones urbanas que tengan al menos ese número de habitantes en total) los medios necesarios para poner a prueba nuevas soluciones de las que no existan experiencias previas y cuya puesta en práctica no siempre resulta viable por problemas de financiación.

- **URBACT** es un programa europeo de intercambio y aprendizaje que promueve el desarrollo urbano sostenible e integrado, y facilita que las ciudades europeas trabajen de forma conjunta en el desarrollo de soluciones efectivas y sostenibles para los principales desafíos a los que se enfrentan, compartiendo buenas prácticas y la experiencia adquirida e integrando dimensiones ambientales, económicas y sociales.

- El **Pacto de los Alcaldes para el Clima y la Energía** es otro espacio de intercambio con el que cuentan los municipios para comenzar a trabajar en estrategias integrales de adaptación y mitigación del cambio climático.

- De acuerdo con la *Comunicación de la Comisión Europea Infraestructura verde: mejora del capital natural de Europa*, se seguirán explorando las posibilidades de establecer mecanismos de financiación innovadores en apoyo de estas iniciativas. En España, la **Estrategia Estatal de Infraestructura Verde y de la Conectividad y Restauración Ecológicas**, actualmente en desarrollo, marcará las directrices para la identificación y conservación de los elementos que componen la infraestructura verde estatal.

- El enfoque de la resiliencia puede abrir la puerta a nuevas formas de **alianzas público-privadas**. La administración puede atraer socios procedentes del sector empresarial que proporcionen tanto financiación como habilidades de gestión y respuesta.

## 8. RESUMEN

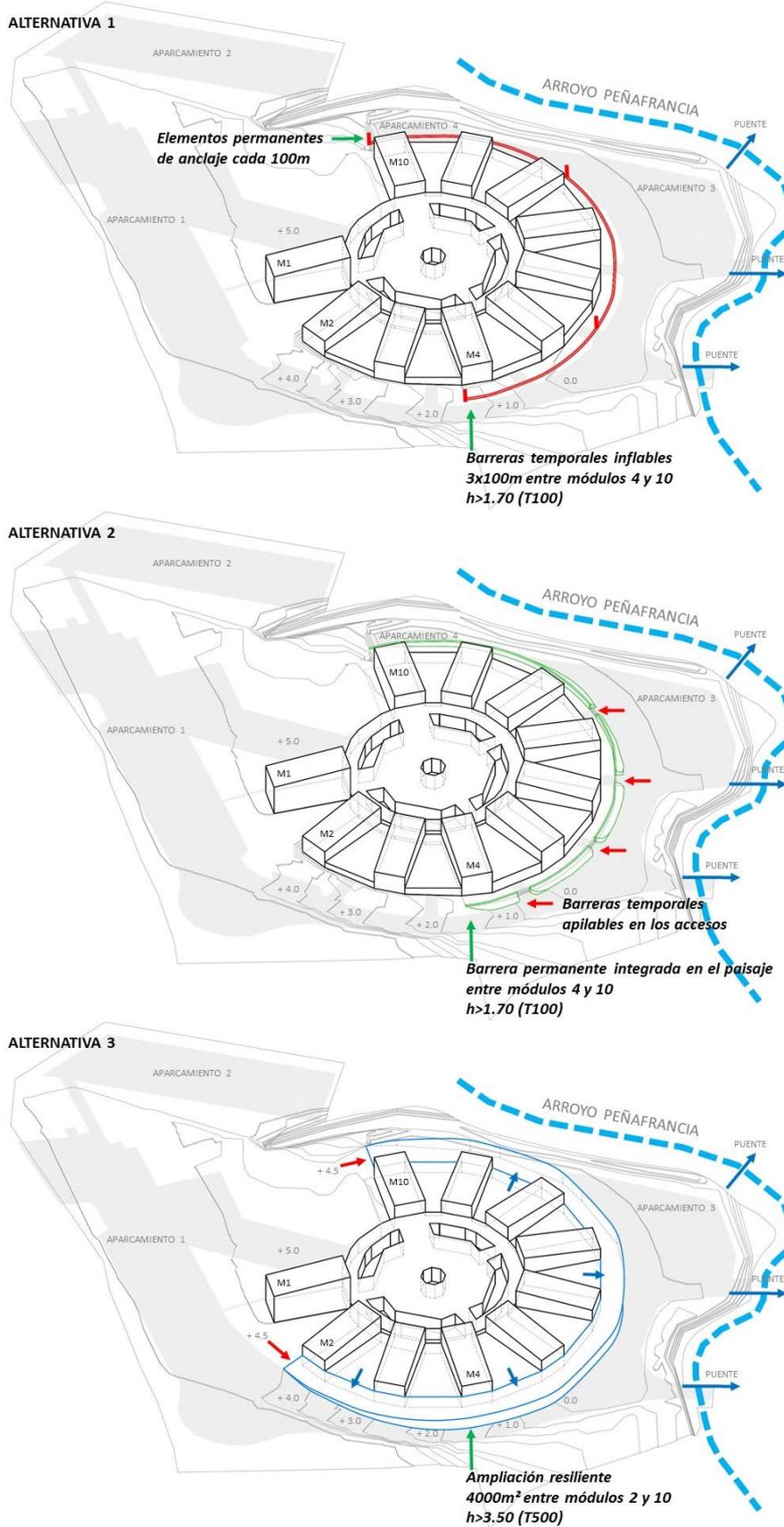


Fig. 55: Esquema resumen de alternativas de actuación.

## 9. VALORACIÓN ECONÓMICA

La cuantificación económica de las medidas depende del riesgo que se considere y el alcance con que se diseñen. Para obtener una estimación se sigue el procedimiento reflejado en la “*Guía para la reducción de la vulnerabilidad de los edificios frente a las inundaciones*”.

El cálculo se realiza mediante la consideración de diferentes hipótesis de riesgo, atendiendo a los periodos de retorno de la inundación de 10, 100 y 500 años y el calado que se puede alcanzar. El alcance económico de las pérdidas se estima según la afección interior y exterior al edificio interior, así como las consecuencias en el equipamiento y actividad del edificio. Conocida la probabilidad de los sucesos y los daños que se producirían, se calcula el daño anual medio esperado por avenidas mediante la fórmula que integra los daños y sus frecuencias:

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

Con estos condicionantes, se plantean una estrategia preventiva y su coste estimado de ejecución, y se determinan la reducción del riesgo y la relación beneficio/coste. En todos los casos, las primeras medidas serán implementar los Planes de Autoprotección y asegurar los edificios, con el fin de salvaguardar al máximo la seguridad de las personas, los bienes más sensibles y la capacidad de recuperación.

Para obtener las pérdidas totales estimadas que se producirían en situación actual en caso de inundación se utiliza la siguiente tabla, basada en el coste estimado de los daños en el edificio, en el equipamiento y por el cese de la actividad derivados del episodio de 2018 (4.500.000 € para h=0.80m).

DAÑOS TOTALES EN SITUACIÓN ACTUAL	COSTE ESTIMADO €	Afección por nivel de agua		
		0,5m	1,5m	3m
<b>GENERAL (ESTIMADO POR m<sup>2</sup>)</b>				
Pavimento cerámico	45 €	0%	25%	40%
Pavimento tarima	60 €	100%	100%	100%
Limpieza y gestión de residuos	10 €	30%	100%	100%
<b>GENERAL (ESTIMADO REPERCUTIDO POR m<sup>2</sup>)</b>				
Fachadas	30 €	0%	0%	30%
Paramentos	30 €	25%	60%	95%
Puertas	20 €	75%	100%	100%
Vidrios	20 €	0%	40%	80%
<b>INSTALACIONES (ESTIMADO REPERCUTIDO POR m<sup>2</sup>)</b>				
Instalación eléctrica y luminarias	70 €	10%	50%	70%
Fontanería y saneamiento	70 €	0%	40%	80%
<b>INSTALACIONES (COSTE ESTIMADO TOTAL)</b>				
Grupo electrógeno	20.000 €	100%	100%	100%
Equipo de climatización	20.000 €	0%	0%	100%
Equipo de agua caliente sanitaria	20.000 €	0%	25%	60%
<b>CONTENIDO (COSTE ESTIMADO TOTAL)</b>				
Mobiliario	300.000 €	50%	100%	100%
Equipos informáticos	1.000.000 €	50%	100%	100%
Laboratorios de investigación	3.000.000 €	50%	75%	100%
<b>ACTIVIDAD (COSTE ESTIMADO POR INUTILIZACIÓN HASTA RECUPERACIÓN)</b>				
Cese de actividad	2.000.000 €	50%	75%	100%

Fig. 56: Estimación de daños totales por niveles de agua.

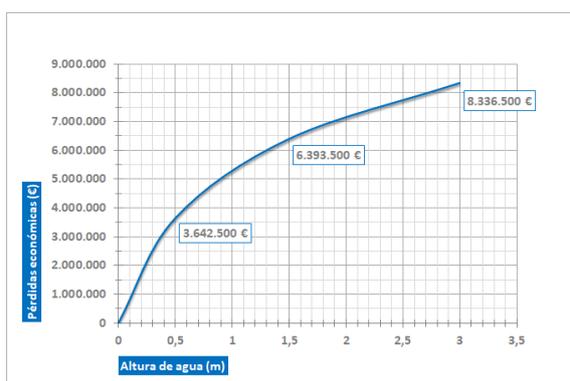
Daños totales en situación actual estimados por nivel de agua (superficie inundable: 9.000 m<sup>2</sup>):

- Se realiza una estimación de los daños totales en situación actual para 0.5m, 1.5m y 3m, calculando las pérdidas (P) en función del porcentaje de afección (A).

DAÑOS TOTALES EN SITUACIÓN ACTUAL	COSTE ESTIMADO €	COSTE ESTIMADO € 9.000 m <sup>2</sup>	Nivel de agua					
			0,5m		1,5m		3m	
			A (%)	P (€)	A (%)	P (€)	A (%)	P (€)
<b>GENERAL (ESTIMADO POR m<sup>2</sup>)</b>								
Pavimento cerámico (2/3 superficie)	45 €	270.000 €	0%	0 €	25%	67.500 €	40%	108.000 €
Pavimento tarima (1/3 superficie)	60 €	180.000 €	100%	180.000 €	100%	180.000 €	100%	180.000 €
Limpieza y gestión de residuos	10 €	90.000 €	30%	27.000 €	100%	90.000 €	100%	90.000 €
<b>GENERAL (ESTIMADO REPERCUTIDO POR m<sup>2</sup>)</b>								
Fachadas	30 €	270.000 €	0%	0 €	0%	0 €	30%	81.000 €
Paramentos	30 €	270.000 €	25%	67.500 €	60%	162.000 €	95%	256.500 €
Puertas	20 €	180.000 €	75%	135.000 €	100%	180.000 €	100%	180.000 €
Vidrios	20 €	180.000 €	0%	0 €	40%	72.000 €	80%	144.000 €
<b>INSTALACIONES (ESTIMADO REPERCUTIDO POR m<sup>2</sup>)</b>								
Instalación eléctrica y luminarias	70 €	630.000 €	10%	63.000 €	50%	315.000 €	70%	441.000 €
Fontanería y saneamiento	70 €	630.000 €	0%	0 €	40%	252.000 €	80%	504.000 €
<b>INSTALACIONES (COSTE ESTIMADO TOTAL)</b>								
Grupo electrógeno	20.000 €	20.000 €	100%	20.000 €	100%	20.000 €	100%	20.000 €
Equipo de climatización	20.000 €	20.000 €	0%	0 €	0%	0 €	100%	20.000 €
Equipo de agua caliente sanitaria	20.000 €	20.000 €	0%	0 €	25%	5.000 €	60%	12.000 €
<b>CONTENIDO (COSTE ESTIMADO TOTAL)</b>								
Mobiliario	300.000 €	300.000 €	50%	150.000 €	100%	300.000 €	100%	300.000 €
Equipos informáticos	1.000.000 €	1.000.000 €	50%	500.000 €	100%	1.000.000 €	100%	1.000.000 €
Laboratorios de investigación	3.000.000 €	3.000.000 €	50%	1.500.000 €	75%	2.250.000 €	100%	3.000.000 €
<b>ACTIVIDAD (COSTE ESTIMADO POR INUTILIZACIÓN HASTA RECUPERACIÓN)</b>								
Cese de actividad	2.000.000 €	2.000.000 €	50%	1.000.000 €	75%	1.500.000 €	100%	2.000.000 €
<b>COSTE ESTIMADO TOTAL €</b>		<b>9.060.000 €</b>		<b>3.642.500 €</b>		<b>6.393.500 €</b>		<b>8.336.500 €</b>

Daños totales en situación actual estimados por periodo de retorno:

- Para calcular el valor estimado correspondiente a cada periodo de retorno se aplica una regla proporcional utilizando los datos de la tabla anterior. A continuación, se calcula el daño anual medio mediante la suma del daño incremental de cada intervalo de probabilidad aplicando la fórmula que integra los daños y sus frecuencias, y se multiplica para obtener las pérdidas potenciales durante un periodo de 30 años.



DAÑOS TOTALES SITUACIÓN ACTUAL	Periodo de retorno		
	T=10	T=100	T=500
Altura de agua (m)	1,7	2,6	3,5
Probabilidad anual	0,1	0,01	0,002
Daño	6.700.000 €	7.800.000 €	9.000.000 €
Daño incremental	335.000,00 €	652.500,00 €	67.200,00 €
Daño anual medio			1.054.700,00 €
Daño acumulado en 30 años			31.641.000,00 €

Alternativas de adaptación:

- Se plantean tres estrategias de intervención y su coste estimado de ejecución:

ALTERNATIVA 1: BARRERAS TEMPORALES		
BARRERA TEMPORAL	Barreras temporales inflables h=1.70, 3x100m longitud de M4 a M10	45.000 €
	Instalación de 4 elementos de anclaje cada 100m	8.000 €
INSTALACIONES	Instalación de válvula antirretorno en acometida	3.000 €
	Sellado de patinillos de instalaciones	10.000 €
	Mejora de los sistemas permanentes de drenaje y bombeo	30.000 €
<b>COSTE ESTIMADO TOTAL €</b>		<b>96.000 €</b>

ALTERNATIVA 2: BARRERA PERMANENTE INTEGRADA EN EL PAISAJE		
BARRERA PERMANENTE	Muro de hormigón h=1.70, 300m longitud de M4 a M10	200.000 €
	Instalación de 4 barreras automáticas en los accesos	120.000 €
INSTALACIONES	Instalación de válvula antirretorno en acometida	3.000 €
	Sellado de patinillos de instalaciones	10.000 €
	Mejora de los sistemas permanentes de drenaje y bombeo	30.000 €
<b>COSTE ESTIMADO TOTAL €</b>		<b>363.000 €</b>

ALTERNATIVA 3: AMPLIACIÓN DEL EDIFICIO		
AMPLIACIÓN RESILIENTE	Ampliación 4.000 m <sup>2</sup> de M2 a M10	6.000.000 €
	Instalación de válvula antirretorno en acometida	3.000 €
INSTALACIONES	Sellado de patinillos de instalaciones	10.000 €
	Mejora de los sistemas permanentes de drenaje y bombeo	30.000 €
<b>COSTE ESTIMADO TOTAL €</b>		<b>6.043.000 €</b>

Análisis beneficio/coste:

- Se calcula el daño residual o valor estimado de los daños en función de la altura del agua tras implementar cada paquete de medidas, y se obtienen las pérdidas potenciales durante un periodo de 30 años utilizando el procedimiento anterior. Por último, se estudia la reducción del riesgo y la relación beneficio/coste que ofrece cada alternativa:

ALTERNATIVA 1: 96.000 €	T=10	T=100	T=500
Daño	0 €	7.800.000 €	9.000.000 €
Daño incremental	0,00 €	351.000,00 €	67.200,00 €
Daño anual medio			418.200,00 €
Daño acumulado en 30 años			12.546.000,00 €
<b>Reducción teórica del riesgo</b>			<b>60,35%</b>
<b>Beneficio/Coste</b>			<b>198,91</b>

ALTERNATIVA 2: 363.000 €	T=10	T=100	T=500
Daño	0 €	7.800.000 €	9.000.000 €
Daño incremental	0,00 €	351.000,00 €	67.200,00 €
Daño anual medio			418.200,00 €
Daño acumulado en 30 años			12.546.000,00 €
<b>Reducción teórica del riesgo</b>			<b>60,35%</b>
<b>Beneficio/Coste</b>			<b>52,60</b>

ALTERNATIVA 3: 6.413.000 €	T=10	T=100	T=500
Daño	0 €	0 €	0 €
Daño incremental	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Daño anual medio			0,00 €
Daño acumulado en 30 años			0,00 €
<b>Reducción teórica del riesgo</b>			<b>100,00%</b>
<b>Beneficio/Coste</b>			<b>5,24</b>

## Conclusiones:

El edificio polivalente de la Escuela Politécnica de Ingeniería de Gijón se encuentra en una ubicación muy vulnerable ante inundaciones, y conviene por tanto adoptar medidas de adaptación para prevenirlas. Se proponen las siguientes alternativas:

- La **alternativa 1** plantea el uso de BARRERAS TEMPORALES, económicas y de fácil instalación, con una relación beneficio/coste muy favorable. Sin embargo, está sujeta al buen funcionamiento de los protocolos de actuación y a la elevada incertidumbre en los sistemas de alerta temprana debido a las características de la cuenca hidrográfica.
- La **alternativa 2** plantea la construcción de una BARRERA PERMANENTE INTEGRADA EN EL PAISAJE, aunando soluciones propias de la ingeniería con otras basadas en la naturaleza, con una relación beneficio/coste favorable. Sin embargo, supone un mayor coste económico, tramitación administrativa y obra. Implica además un impacto en el entorno y en la dinámica del río, por lo que deberá apoyarse en las correspondientes pruebas de modelización hidráulica.
- La **alternativa 3** plantea una AMPLIACIÓN DEL EDIFICIO. Se trata de una intervención mucho más costosa que las anteriores, pero constituye una oportunidad para solucionar el problema obteniendo además nuevos beneficios, ya que ofrece una reducción teórica del riesgo del 100% proporcionando 4.000 m<sup>2</sup> de superficie útil adicional a la escuela. Asimismo, permite incorporar elementos como las cubiertas y fachadas verdes, situando al edificio como referente en materia de resiliencia y sostenibilidad. Sin embargo, está sujeta a las limitaciones que se desprenden del Real Decreto 638/2016, de 9 de diciembre.

Si estas soluciones orientadas a EVITAR que el agua alcance el edificio no fuesen viables, la adaptación al riesgo de inundación requerirá inventariar todos los puntos de entrada en caso de avenida y desarrollar un amplio programa de medidas puntuales orientado a RESISTIR. En dicho caso, se acepta que el agua alcanzará el edificio, y que, si alguna de las intervenciones falla o aparecen puntos de entrada imprevistos, toda la propuesta quedará invalidada. Será preciso por lo tanto minimizar los daños mediante estrategias centradas en elevar, reubicar o proteger todos los elementos vulnerables, especialmente aquellos de mayor valor económico.

En cualquier caso, la adaptación del edificio al riesgo de inundación se propone de forma complementaria y paralela a otras medidas de mayor escala y alcance.

## 10. REFERENCIAS

- *Diagnóstico preliminar sobre la inundabilidad del edificio de la Escuela Politécnica de Ingeniería de Gijón.*  
Instituto de Recursos Naturales y Ordenación del Territorio (INDUROT). Universidad de Oviedo.

- *Resiliencia territorial ante catástrofes en el cantábrico español.*  
Instituto de Recursos Naturales y Ordenación del Territorio (INDUROT). Universidad de Oviedo.  
Marquín García, Jorge; Fernández Iglesias, Elena; Colina Vuelta, Arturo; García de la Fuente, Laura.  
ROP 2017, 164 (3587): 54-63.

- *Daños de «cientos de miles de euros» en la Escuela Politécnica de Ingeniería.*  
El Comercio, 12.06.2018  
<https://www.elcomercio.es/gijon/danos-cientos-miles-20180612001413-ntvo.html>

- *«La situación en la Escuela Politécnica es aún peor de lo que esperábamos».*  
El Comercio, 14.06.2018  
<https://www.elcomercio.es/gijon/inundacion-escuela-politecnica-gijon-20180614002253-ntvo.html>