

La implantación de medidas de mejora de la resiliencia en edificios históricos

Christine Andres - Cubit Tecnología e Infraestructuras S.L.

Antonio Henar - Agon Arquitectura e Ingeniería S.L.

Elena Pinto - Cubit Tecnología e Infraestructuras S.L.

Sara Cuesta - Consulnima S.L.

Carlos Garijo - Consulnima S.L.

Fernando Ramírez - Consulnima S.L.

Juan Francisco Arrazola - Dirección General del Agua (MITERD¹)

Aránzazu Gurrea-Nozaleda - Dirección General del Agua (MITERD)

Gonzalo Magdaleno Payán - Dirección General del Agua (MITERD)

Mónica Aparicio Martín - Dirección General del Agua (MITERD)

Francisco Javier Sánchez Martínez - Dirección General del Agua (MITERD)

Una nueva forma de enfocar los problemas

En los últimos años el efecto del cambio climático se ha añadido a los problemas de ocupación de las zonas inundables, multiplicando los daños que se producen con cada evento.

El enfoque habitual, centrado en controlar la fuente de la inundación (el cauce, el mar, la lluvia...), debe complementarse con medidas de autoprotección de la población y de las edificaciones afectadas. Esta necesidad es especialmente acuciante en zonas con llanuras de inundación de grandes dimensiones, en las que las medidas tradicionales (presas, encauzamientos, motas) resultan insuficientes o tienen un coste ambiental demasiado elevado.

Con el fin de difundir las medidas que cada titular de un edificio o una instalación puede implantar, la Dirección General del Agua (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico) puso en marcha un contrato específico que se enfrentaba a la tarea de análisis y difusión de las medidas para mejora de la resiliencia: «PLAN PIMA ADAPTA. DESARROLLO DE PROGRAMAS PILOTO DE ADAPTACIÓN AL RIESGO DE INUNDACIÓN Y DE FOMENTO DE LA CONSCIENCIA DEL RIESGO DE INUNDACIÓN EN DIVERSOS SECTORES ECONÓMICOS». Los trabajos se dividieron en tres lotes, que analizaban la problemática de tres sectores estratégicos: el sector agrícola, el sector industrial y el ámbito urbano, que es el objeto de este artículo.

¹ MITERD: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.



Figura 1. Vista de la terraza de la Casa de la Moneda (Segovia) durante la inundación de 2014.

Fuente: Radio Segovia.

La Directiva de Inundaciones del año 2007, traspuesta al ordenamiento jurídico español por medio del [Real Decreto 903/2010](#), integra este nuevo paradigma, máxime teniendo en cuenta su profunda dependencia de la [Directiva Marco del Agua](#), que hace de la protección de los cauces uno de sus pilares fundamentales.

Con el fin de difundir las medidas que cada titular de un edificio o una instalación puede implantar, la Dirección General del Agua (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico) puso en marcha un contrato específico que se enfrentaba a la tarea de análisis y difusión de las medidas para mejora de la resiliencia: «PLAN PIMA ADAPTA. DESARROLLO DE PROGRAMAS PILOTO DE ADAPTACIÓN AL RIESGO DE INUNDACIÓN Y DE FOMENTO DE LA CONSCIENCIA DEL RIESGO DE INUNDACIÓN EN DIVERSOS SECTORES ECONÓMICOS». Los trabajos se dividieron en tres lotes, que analizaban la problemática de tres sectores estratégicos: el sector agrícola, el sector industrial y el ámbito urbano, que es el objeto de este artículo .

En las zonas de inundación recurrente es necesario, por tanto, concienciar a la población de forma que complemente las posibles medidas tomadas por los organismos públicos y considere su autoprotección como imprescindible durante cada evento extremo.

La autoprotección incluye tanto las edificaciones que se encuentran en zona inundable como las personas que se puedan encontrar en su interior.

La protección de los edificios: convivir con las inundaciones

Cuando un edificio se encuentra en una zona inundable con una recurrencia elevada, existen varios procedimientos que se pueden poner en marcha para reducir, e incluso eliminar, los daños que pueden producirse.

El proceso exige un conocimiento profundo, tanto de las posibles cotas que puede alcanzar el agua como de la configuración y funcionamiento del edificio que se analiza.

Las fases del proceso son cuatro:

- La definición de los niveles del agua en el edificio, tanto a un nivel teórico (a partir de los estudios que se pueden consultar en el [SNCZI](#) o estudios *ad-hoc*), como a nivel histórico, para lo cual es muy importante la información de los propios usuarios del edificio y de sus vecinos.
- El diagnóstico de la situación del edificio: la vulnerabilidad de la estructura e instalaciones, elementos de valor en su interior...
- La toma de decisiones sobre qué tipo de estrategia se quiere implantar para proteger el edificio y las posibles medidas que se pueden poner en marcha, analizando las más favorables.
- El diseño más detallado de la solución finalmente seleccionada y su implantación definitiva.



Figura 2. Proceso de selección de las medidas a implantar.

Fuente: Elaboración propia.

Diagnóstico

Como se ha indicado anteriormente, el diagnóstico consiste en conocer tanto aquellos elementos del edificio que pueden ser dañados (en continente y contenido) como los puntos débiles por donde el agua puede acceder a su interior.

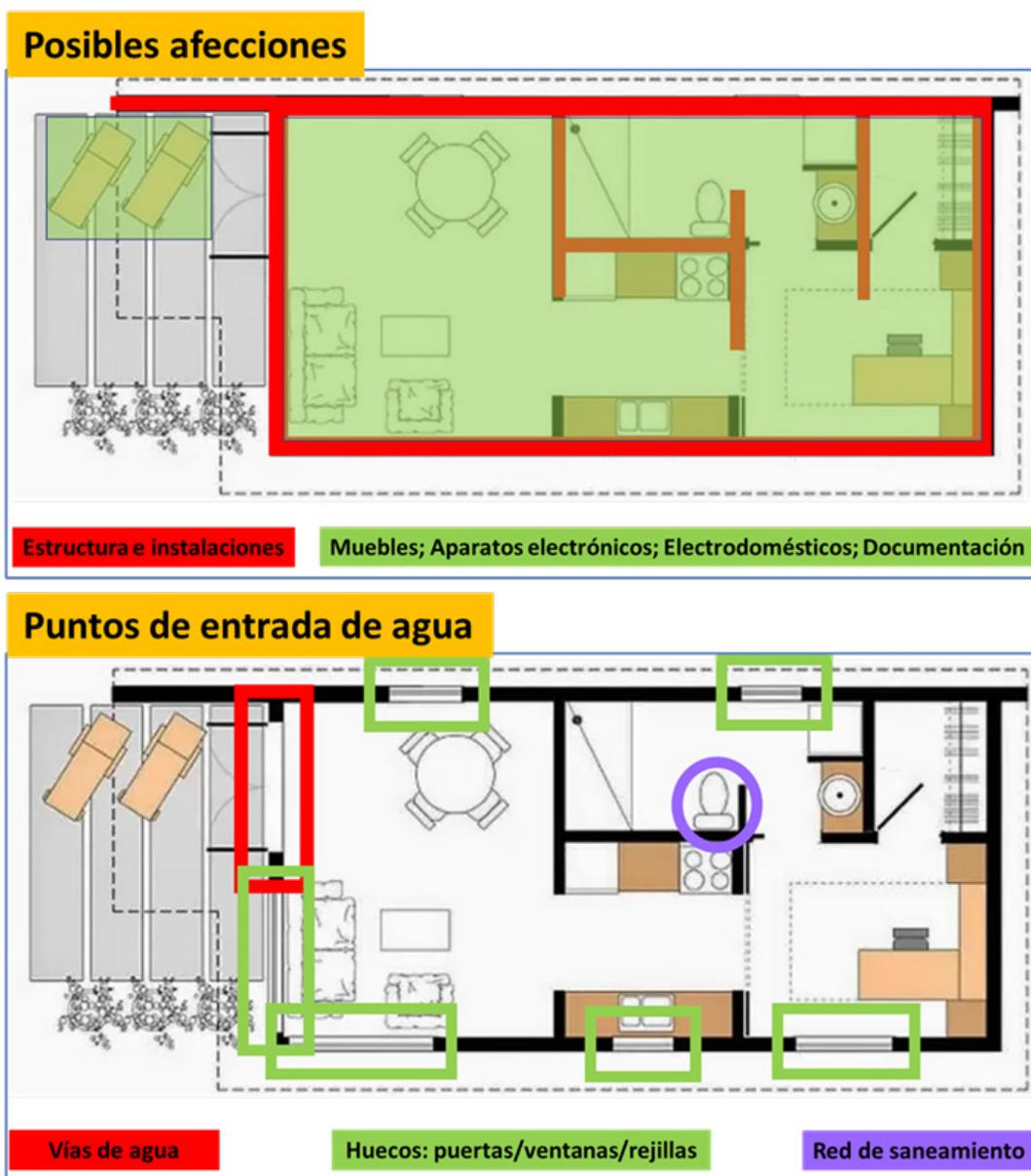


Figura 3. Diagnóstico del edificio.
Fuente: Elaboración propia.

Estrategias y medidas

Las posibles medidas a implantar se agrupan en una estrategia, en función de la actitud que se quiera mantener frente al agua; en suma, en función de lo alejada que queramos mantener al agua de nuestra instalación.

Las estrategias son cuatro:

- Evitar: impedir que el agua se acerque al edificio.
- Resistir: dejar que el agua llegue al edificio, pero blindarlo para que no pueda entrar.
- Tolerar: permitir que el agua entre en el edificio, pero reducir al máximo su vulnerabilidad.
- Retirar el edificio (eliminarlo o trasladarlo).



Figura 4. Estrategias de autoprotección.
Fuente: Elaboración propia.

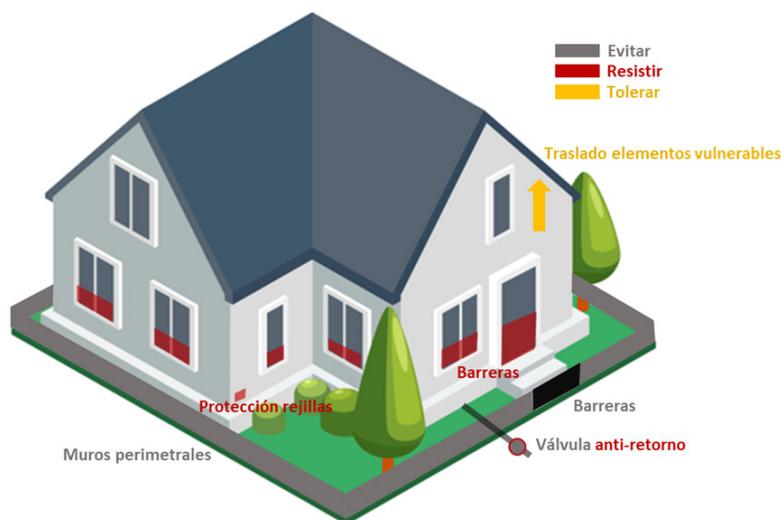


Figura 5. Medidas típicas de cada estrategia de autoprotección.
Fuente: Elaboración propia.

Para conocer en profundidad los medios disponibles para la reducción del riesgo, el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico ha puesto a disposición de los usuarios una serie de guías técnicas de fácil uso, que están disponibles en su [página web](#).



Figura 6. Guías técnicas disponibles.
Fuente: MITERD.

Las medidas son de tipos muy variados pero, recopilando los casos piloto analizados, podemos exponer a continuación un resumen de las más habituales y algunas matizaciones cuando hablamos de edificios históricos.

En la estrategia **EVITAR** predominan los recrecimientos de muros, las barreras temporales con paneles de aluminio o las de tipo *floodgrating* (paneles ligeros recubiertos de material plástico que se instalan en el momento). Para calados reducidos, las barreras hinchables o modulares tienen un funcionamiento muy bueno para presupuestos reducidos. Existen soluciones óptimas, como las compuertas que se elevan automáticamente por la presión del agua, pero son sistemas de costes elevados que se justifican en casos de daños muy cuantiosos y que pueden ser difíciles de integrar en el caso del patrimonio cultural.



Figura 7. Medidas más frecuentes: estrategia EVITAR.
Fuente: Varias fuentes.

En la estrategia **RESISTIR** predominan los sellados de paramentos exteriores para protegerlos a la exposición del agua, las barreras temporales de paneles tipo *floodgate* para elevar el umbral de puertas y ventanas, el uso de puertas y ventanas estancas, la instalación de válvulas anti-retorno en las acometidas para evitar la entrada de agua de los sistemas de saneamiento colapsados y el sellado temporal de las rejillas de ventilación. En este caso, las actuaciones que pueden ser difíciles de integrar en un edificio histórico son las puertas y ventanas estancas permanentes.



Figura 8. Medidas más frecuentes: estrategia RESISTIR.
Fuente: Varias fuentes.

En la estrategia **TOLERAR** predominan el uso de materiales resistentes a la exposición del agua, el traslado o la protección específica de instalaciones y enseres de alta importancia y la instalación de sistemas de achique en plantas bajas o sótanos.

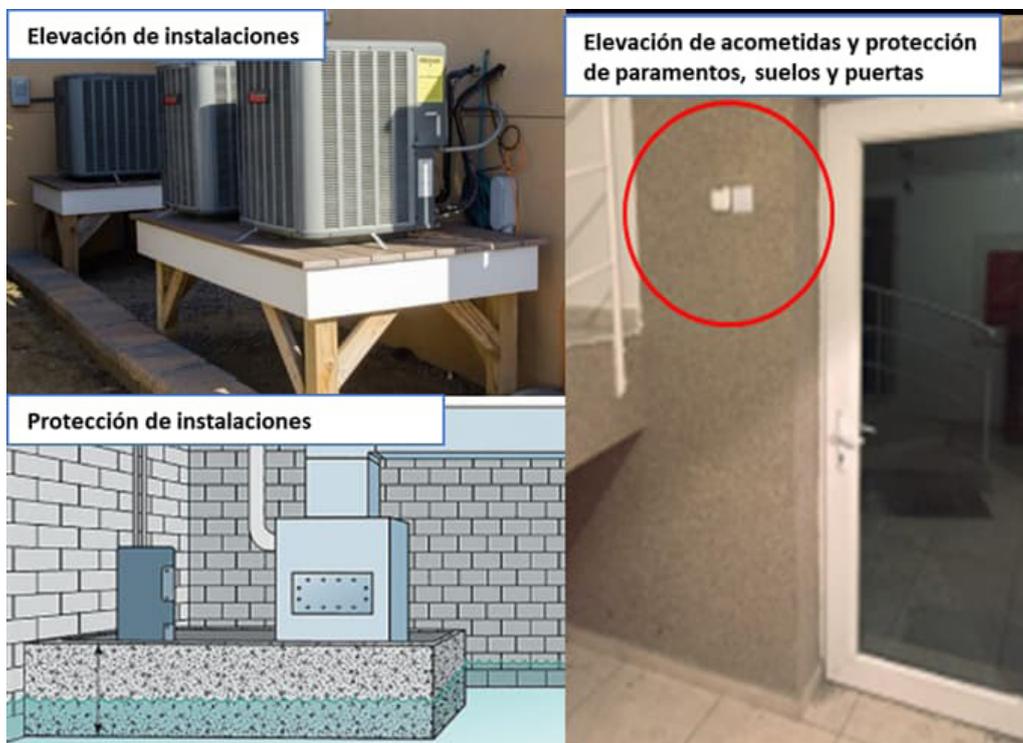


Figura 9. Medidas más frecuentes: estrategia TOLERAR.
Fuente: Varias fuentes.

La estrategia **RETIRAR**, que implica el traslado de la instalación fuera de la zona inundable y que siempre exige un gran consenso social. No entra en ningún caso entre el abanico de opciones disponibles cuando hablamos del patrimonio cultural.

El ejemplo de la Casa de la Moneda (Segovia)

A finales del siglo XVI, a propuesta del rey Felipe II, se decide construir una fábrica de acuñación de moneda (ceca) en Segovia, ubicada junto al río Eresma, con objeto de aprovechar la fuerza motriz de su caudal. Edificio de estilo herreriano que fue creado para el acuñado de moneda, posteriormente fue un molino de harina y permaneció abandonado hasta la creación de la actual Real Casa de la Moneda de Segovia (en adelante RCMS).

Las inundaciones históricas se prolongan hasta nuestros días (2009, 2013, 2014, 2016, 2019 y 2020), incluso teniendo en consideración que en la cuenca alta del río Eresma, aguas arriba de la RCMS, se construyó entre 1995 y 1996 el embalse del Pontón Alto, con cierta capacidad de regular y laminar las crecidas de bajos periodos de retorno, pero cuya función es la del abastecimiento. El edificio se encuentra en el extramuros de la ciudad, aguas arriba del barrio de San Marcos, tal y como puede apreciarse en la siguiente ortofoto.

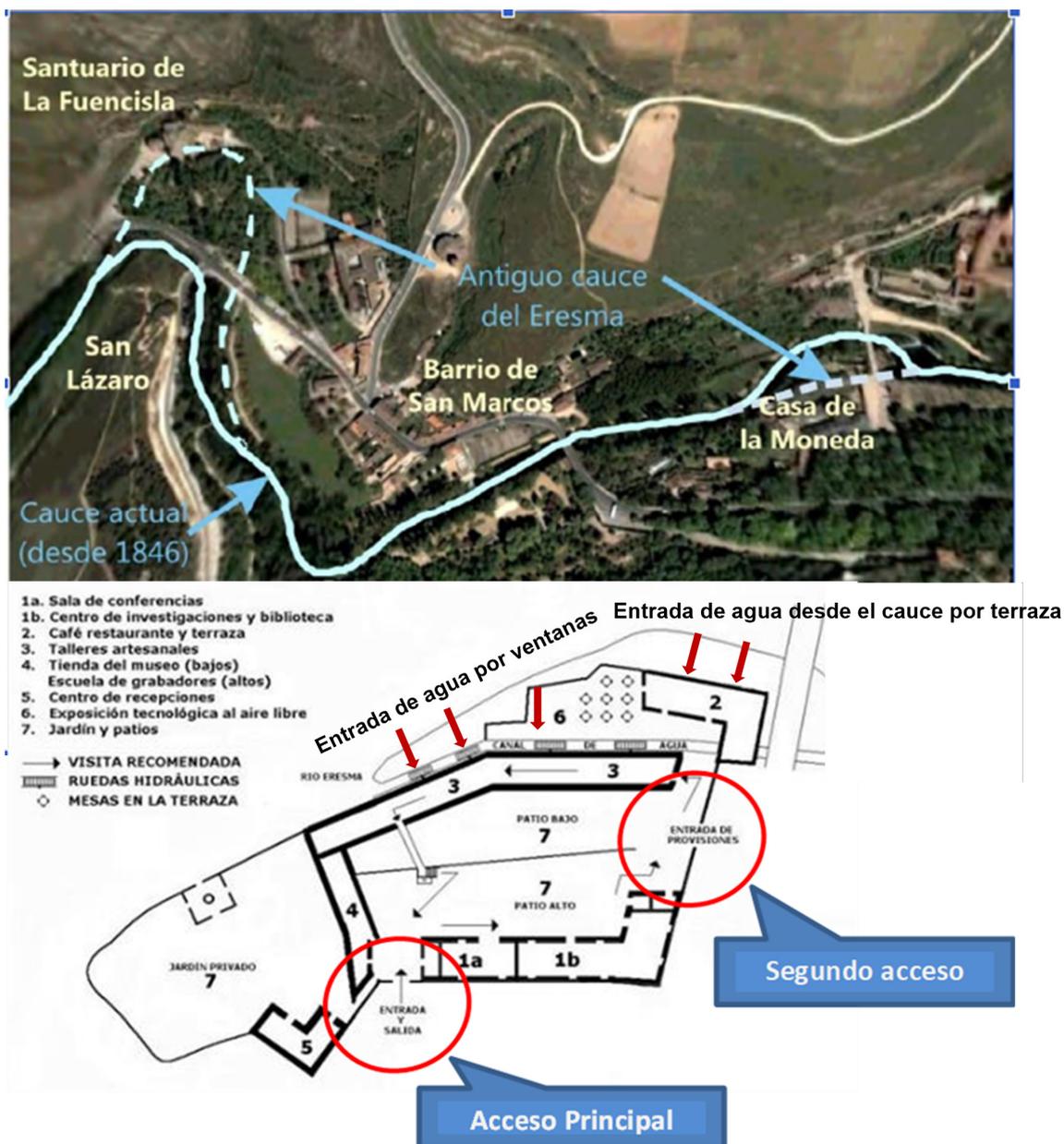


Figura 10. Configuración de la Casa de la Moneda.

Fuente: Google Maps y Ayuntamiento de Segovia.

Las instalaciones de la Real Casa de la Moneda de Segovia, como se ha indicado, han sufrido episodios de inundación durante toda su historia, pues se ubica en un lugar muy expuesto, como es el paleocauce, o antiguo canal propiamente dicho, del río Eresma, hecho que se agrava por el estrechamiento provocado por la construcción de la terraza y barrera de seguridad de la cafetería de El Ingenio Chico y más recientemente por la construcción de un muro de gaviones que reduce la llanura de inundación en la margen opuesta a la Casa de la Moneda (margen derecha).

Tras las inundaciones de 2013 y 2014, los gestores de la instalación acometieron una serie de medidas para su protección:

- Impermeabilización del muro entre el taller y el canal.
- Instalación de vidrios de seguridad, colocados sobre un perfil metálico, en las ventanas situadas en la zona de talleres y una doble protección consistente en la disposición de tablonces de madera para asegurar el cierre de las ventanas frente al empuje del agua.
- Renovación en el interior de la [atarjea](#).
- Instalación sobre el muro de mampostería de la terraza del restaurante El Ingenio Chico, de un pretil de sesenta centímetros de altura realizado con vidrio de seguridad y fijado al muro mediante la colocación de diversos soportes metálicos.
- Instalación de rejas metálicas previas a los canales, con el fin de evitar que la entrada de materiales sólidos perjudicase el correcto funcionamiento de las compuertas, y colocación de dos compuertas con objeto de regular el agua del río que pudiese acceder a los canales ante una crecida. Asimismo se instaló una bomba y otros elementos más pequeños con la finalidad de ofrecer una mayor protección ante riadas extraordinarias.



Figura 11. Terraza de la cafetería lindante con el cauce.

Fuente: MITERD.

Si bien muchas de ellas van en la línea de las que se proponen a continuación, otras, como la instalación de un vidrio sobre el muro de la terraza, pueden contribuir a agravar el problema en algunas ocasiones y, en cualquier caso, no impidieron que en 2020 se repitieran los daños.



Figura 12. Inundación en el patio inferior y marca de agua tras el evento de 2020.

Fuente: Casa de la Moneda.

Ante esta situación se decidió estudiar el caso dentro del contrato mencionado en el apartado 1. Se visitaron las instalaciones en dos ocasiones y, tras realizar el correspondiente diagnóstico, se propusieron una serie de medidas que combinaban dos de las estrategias recomendadas en las guías:

- Para **RESISTIR** se propuso permitir que el agua fluyera por la terraza exterior del restaurante El Ingenio Chico e impermeabilizar los muros, sustituir los vidrios de las ventanas y colocar barreras temporales en los huecos. También se recomendó la instalación de válvulas antirretorno en la red de saneamiento.
- Para **TOLERAR** se propuso la elevación de todo el sistema eléctrico y del *rack* de comunicaciones, así como la instalación de bombas más potentes que las existentes para achicar el agua.

También se evaluaron y propusieron actuaciones complementarias a las anteriores durante la redacción del anteproyecto que, mediante medidas del tipo EVITAR, buscan mejorar el comportamiento hidráulico del río Eresma en la zona contigua y reducir así los calados en el entorno de la instalación, lo que mejoraría el resultado de las demás medidas proyectadas.

No se contempla la posibilidad de RETIRAR, dado el alto valor histórico y patrimonial del edificio.

De esta forma, la alternativa finalmente propuesta contempla el siguiente conjunto de actuaciones:

- **Permeabilizar la terraza del restaurante El Ingenio Chico**, cuyo muro se encuentra actualmente elevado mediante paneles transparentes, y permitir el paso del agua a partir de una cota predeterminada.

Para realizar dicha actuación se proyecta el levantado de la mampara de vidrio y su sustitución por una barandilla de acero o forja que permita el paso del agua a su través. A su vez, se propone la demolición de pequeñas aperturas (0,25 x 0,5 m) cada 2 m de longitud, en el muro, permitiéndose el ensanchamiento de la sección y evitando de este modo que se alcancen cotas superiores en el río en zonas próximas a la RCMS.



Figura 13. Actuaciones en el muro de la terraza del restaurante El Ingenio Chico.

Fuente: Google Maps.



Figura 14. Actuaciones en el muro de protección construido en la terraza del restaurante El Ingenio Chico.

Fuente: MITERD.

Esta actuación, al permitir el paso del agua en la terraza de la cafetería, obliga, a su vez, a establecer otras medidas encaminadas a proteger el edificio en esta zona frente al agua. Las opciones para hacerlo son varias, siendo la mejor opción el disponer de sistemas redundantes, que establezcan de una doble protección a las instalaciones, sobre todo en caso de superarse ciertos umbrales de calados.

- Protección de los paramentos del edificio en la terraza de El Ingenio Chico hasta una cota de 1,5 m.
- Sustitución del acristalamiento de las ventanas y la puerta de la terraza del restaurante por uno resistente a la presión ocasionada por el agua con vidrios de seguridad (10+10).



Figura 15. Puertas y ventanas de la terraza de la cafetería de El Ingenio Chico a reforzar.
Fuente: MITERD.

- Disposición de barreras temporales de, al menos, 1,5 m de altura en las puertas y ventanas que dan acceso a la terraza del restaurante como sistema redundante al anterior de vidrios de seguridad 10 + 10 antes dispuesto.
- Impermeabilización del muro entre el taller y el canal con Bentofix, material integrado por geocompuestos bentoníticos impermeabilizantes de expansión controlada.
- Instalación de vidrios 10+10 en las ventanas del taller con vistas hacia el río Eresma y disposición de un doble sistema compuesto por barreras temporales frente a las inundaciones (*slim line*) de 1,2 m de altura desde el alfeizar con objeto de reducir al máximo, o incluso suprimir, los daños sufridos en estas salas y en el museo en inundaciones pasadas.

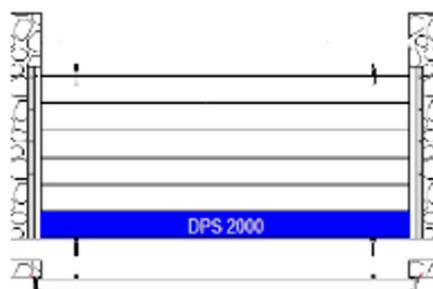


Figura 16. Tipología de compuertas modulares para puerta de entrada principal de El Ingenio Chico.
Fuente: Catálogo CAG Canalizaciones S.L.

- Instalación de una junta tórica, de modo que se evite la entrada de agua en los puntos de inserción de los ejes de maquinaria.
- Impermeabilización del foso del ascensor y atarjeas.
- Disposición de válvulas anti-retorno en la acometida del saneamiento y sellado de pasatubos de arquetas.

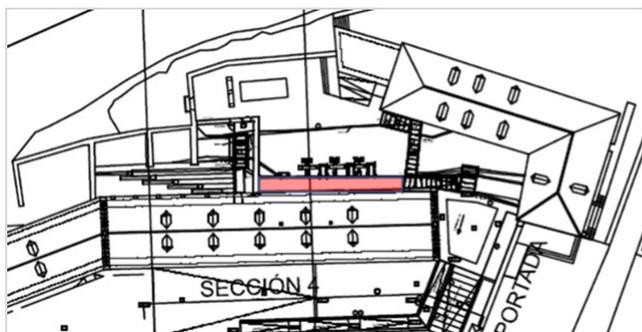


Figura 17. Planta de ubicación del canal a impermeabilizar y detalle del canal.
Fuente: Casa de la Moneda.

- Elevar todo el sistema eléctrico y el *rack* de comunicaciones para que se encuentren por encima de la cota de inundación.



Figura 18. Detalle de refuerzo existente en las ventanas del taller y ventanas de taller.

Fuente: Casa de la Moneda.

- Aumentar la capacidad de achique del pozo de drenaje con dos bombas adicionales, así como acrecentar el estanque de tormentas existente en el patio interior de dimensiones 3x3x3 m a un estanque de tormentas de 9x6x3 m.



Figura 19. Ejes de la maquinaria del museo.

Fuente: MITERD.

El coste aproximado de estas medidas es de unos 165.000 euros, frente a unos daños estimados en 2020, teniendo en cuenta el periodo de cierre de las instalaciones, de 192.384 euros.

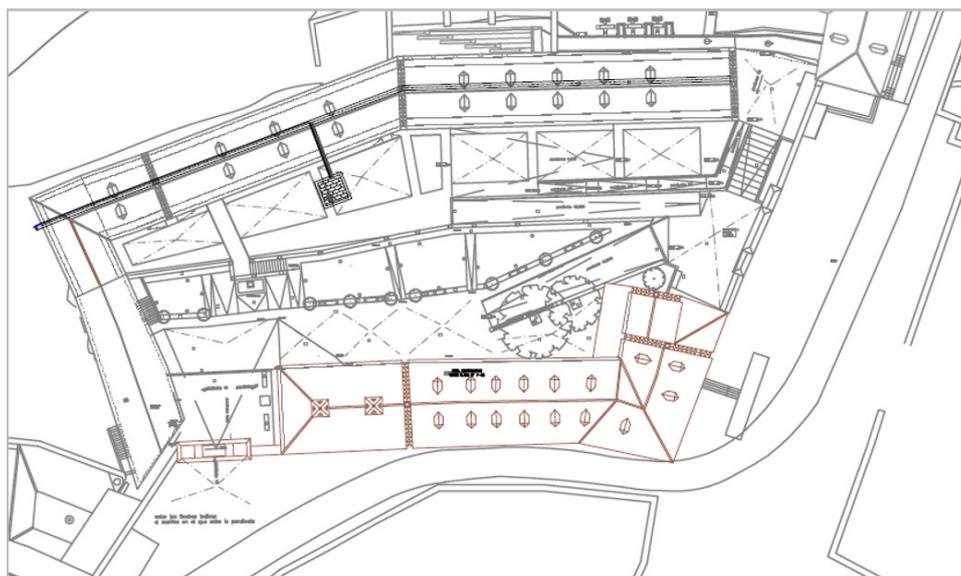


Figura 20. Planta de ubicación del tanque de tormentas existente.
Fuente: Casa de la Moneda.

Por último, no podemos olvidar que todas estas medidas, centradas en mantener la integridad material del edificio, no impedirán que, por prevención, la instalación deba ser evacuada durante el evento, para lo cual los responsables del edificio deberán seguir y adaptar las siguientes recomendaciones generales:

1. 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 Duero, medios de comunicación, redes sociales y APPS.
2. Contratar una póliza de seguros de la propiedad, actividades y vehículos.
3. Contar con un plan de autoprotección y practicar la evacuación.
4. Familiarizarse con el [Plan de protección civil ante el riesgo de inundaciones en la Comunidad de Castilla y León \(INUNcyL\)](#) y las [Precauciones ante el riesgo de avenidas e inundaciones de Protección Civil del Ayuntamiento de Segovia](#).



Figura 21. Guías de autoprotección de Protección Civil.

Conclusiones:

El patrimonio cultural ha de ser objeto prioritario de adaptación al riesgo de inundación dada la importancia de sus valor inmaterial, pero, aunque las soluciones generales planteadas en las guías de adaptación siguen siendo válidas, la estrategia RETIRAR ha de descartarse y algunas de las medidas contempladas en la estrategia RESISTIR pueden no ser fáciles de integrar en determinados edificios históricos.

Por otro lado, y en parte por esa dificultad de implementación de las medidas, las relaciones coste-beneficio no son tan favorables a estas medidas como en otras tipologías de edificio y deben, por tanto, completarse con nuevos indicadores cualitativos y cuantitativos e incorporar en la valoración los beneficios indirectos derivados de las medidas de adaptación, especialmente cuando estas proporcionan nuevos valores ambientales, económicos y sociales.