

TALLERES DE IDENTIFICACIÓN DE MODOS DE FALLO:  
DOCUMENTOS DE APOYO A LA APLICACIÓN DE LA GUÍA

# Catálogo para obras de protección frente a inundaciones fluviales, pluviales y marítimas



Expresamos nuestro agradecimiento al Japan Special Fund (JSF) por hacer posible esta publicación a través de la cooperación técnica RG-T3528: Implementación de la metodología para fortalecer la resiliencia al riesgo de desastre y cambio climático en los proyectos del BID.

**Coautoría:** La producción y difusión de esta Guía Metodológica y sus Catálogos fueron coordinados por Raimon Porta y Ginés Suárez con los valiosos aportes de Julia Ciano, María Alejandra Escovar y Adriana Zambrano. El desarrollo del contenido de la Guía y la catalogación de Modos de Fallo fueron realizados por Ignacio Escuder, Adrián Morales, Sandra Navarro y Helena Yarritu, equipo técnico de la firma consultora iPresas.

**Agradecimientos:** El proceso de revisión técnica contó con la inestimable colaboración de Melissa Barandiarán, Karen Piñeros y Carolina Rogelis. El desarrollo del curso de capacitación online asociado a esta Guía fue realizado por la firma TAEC con el apoyo del equipo de INDES y la retroalimentación de Álvaro Adam, Leandro Kazimierski y Luis Mora. La producción de contenido, su publicación y difusión fue posible gracias a Edoardo Brovero, Lara Chinarro, Wilhelm Dalaison, Maricarmen Esquivel, Patricia Henríquez, Sergio Lacambra, Roberto Leal, Katherine López, David Maier, Lidia Marcelino, Pamela Ogando, Harold Rodríguez y Serge Troch.

**Diseño y diagramación:** Alejandro Scaff.

**Citación sugerida:** Banco Interamericano de Desarrollo (BID). Talleres de Identificación de Modos de Fallo. Documentos de apoyo a la aplicación de la Guía. Catálogo para obras de protección frente a inundaciones fluviales, pluviales y marítimas. 2025.

**Palabras clave:** modos de fallo, infraestructura, riesgo, desastre, resiliencia, inundaciones, obras hidráulicas.

Copyright©2025 Banco Interamericano de Desarrollo (BID). Esta obra está sujeta a una licencia de Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0 CÓDIGO LEGAL) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode.es>). Se deben cumplir los términos y condiciones indicados en el enlace URL y se debe otorgar el reconocimiento correspondiente al BID.

Cualquier disputa que surja bajo esta licencia y que no pueda resolverse de manera amistosa se resolverá de acuerdo con el siguiente procedimiento. Conforme a un aviso de mediación comunicado por medios adecuados por usted o el concedente de la licencia al otro, la disputa se someterá a mediación no vinculante realizada de acuerdo con las Reglas de Mediación de la OMPI. Cualquier disputa que no pueda resolverse de manera amistosa se someterá a arbitraje de conformidad con las reglas de la Comisión de las Naciones Unidas para el Derecho Mercantil Internacional (CNUDMI). Tanto el uso del nombre del BID para cualquier fin que no sea el reconocimiento respectivo, como el uso del logotipo del BID no están autorizados por esta licencia y requieren de un acuerdo de licencia adicional. Tenga en cuenta que el enlace URL incluye términos y condiciones que son parte integral de esta licencia. Las opiniones expresadas en esta obra son las de los autores y no necesariamente reflejan los puntos de vista del Banco Interamericano de Desarrollo, su Directorio Ejecutivo o los países que representan.

Note que el enlace URL incluye términos y condiciones que forman parte integral de esta licencia.

Las opiniones expresadas en esta obra son exclusivamente de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del BID, de su Directorio Ejecutivo ni de los países que representa.



# **Documentos de apoyo a la aplicación de la guía: Catálogo para obras de protección frente a inundaciones fluviales, pluviales y marítimas**

|                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Siglas y abreviaturas</b>                                        | 4  |
| <b>1. Introducción</b>                                              | 5  |
| <b>2. Características particulares para las obras de protección</b> | 6  |
| 2.1. Participantes                                                  | 6  |
| 2.2. Revisión de información                                        | 7  |
| 2.3. Visita técnica                                                 | 8  |
| <b>3. Modos de Fallo</b>                                            | 9  |
| 3.1. Modos de Fallo por inundación pluvial                          | 11 |
| 3.2. Modos de Fallo por inundación fluvial                          | 12 |
| 3.3. Modos de Fallo por inundación marítima                         | 34 |
| 3.4. Modos de Fallo por sistema de gestión del riesgo               | 39 |
| <b>4. Relación de estudios científico-técnicos</b>                  | 45 |
| <b>5. Recomendaciones y mejores prácticas</b>                       | 47 |
| <b>Referencias</b>                                                  | 53 |

## Siglas y abreviaturas

|                 |                                                                                                                     |
|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>ANCOLD</b>   | <i>Australian National Committee on Large Dams</i> (Comité Nacional Australiano de Grandes Presas)                  |
| <b>ASCE</b>     | <i>American Society of Civil Engineers</i> (Asociación Americana de Ingenieros Civiles)                             |
| <b>BID</b>      | Banco Interamericano de Desarrollo                                                                                  |
| <b>CDA</b>      | <i>Canadian Dam Association</i> (Asociación Canadiense de Presas)                                                   |
| <b>CCS</b>      | División de Soluciones de Cambio Climático del BID                                                                  |
| <b>CPR</b>      | Comunidad de Práctica de Resiliencia del BID                                                                        |
| <b>CWC</b>      | <i>Central Water Commission</i> (Comisión Central de Agua)                                                          |
| <b>DRM</b>      | Unidad de Gestión de Riesgo de Desastres del BID                                                                    |
| <b>ESG</b>      | División de Soluciones Ambientales y Sociales del BID                                                               |
| <b>ESR</b>      | Unidad de Gestión de Riesgos Ambientales y Sociales del BID                                                         |
| <b>FERC</b>     | <i>Federal Energy Regulatory Commission</i> (Comisión Federal de Regulación de Energía)                             |
| <b>FMEA</b>     | <i>Failure Modes and Effects Analysis</i> (Análisis de Modos de Fallo y sus Efectos)                                |
| <b>ICOLD</b>    | <i>International Commission on Large Dams</i> (Comisión Internacional de Grandes Presas)                            |
| <b>INE</b>      | Sector de Infraestructura y Energía del BID                                                                         |
| <b>ISO</b>      | <i>International Organization for Standardization</i> (Organización Internacional de Normalización)                 |
| <b>MERDCC</b>   | Metodología de Evaluación de Riesgos de Desastre y Cambio Climático del BID (en inglés, DCCRAM)                     |
| <b>MF</b>       | Modo de Fallo                                                                                                       |
| <b>MPAS</b>     | Marco de Política Ambiental y Social del BID                                                                        |
| <b>OP-704</b>   | Política de Gestión de Riesgo de Desastres del BID                                                                  |
| <b>PADE</b>     | Plan de Acción Durante Emergencias                                                                                  |
| <b>PGRD</b>     | Plan de Gestión de Riesgo de Desastre                                                                               |
| <b>SPANCOLD</b> | Comité Nacional Español de Grandes Presas                                                                           |
| <b>TIMF</b>     | Taller de Identificación de Modos de Fallo                                                                          |
| <b>USACE</b>    | <i>United States Army Corps of Engineers</i> (Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos)              |
| <b>USBR</b>     | <i>United States Bureau of Reclamation</i> (Oficina de Recuperación de Recursos Hidrológicos de los Estados Unidos) |



# 1. Introducción

**El objeto de este documento, junto con la “Guía Metodológica para la realización de Talleres de Identificación de Modos de Fallo”, es desarrollar la metodología de los Talleres de Identificación de Modos de Fallo (TIMF) y su aplicación específica a ciertas infraestructuras.**

Los talleres son la parte principal del análisis cualitativo de riesgos de desastre y cambio climático en infraestructuras. Por ello y con el fin de asegurar la correcta aplicación de la guía, se han desarrollado varios **documentos de referencia** que proporcionan de manera clara y exhaustiva para cada tipo de infraestructura, las técnicas, los procesos y las herramientas necesarias para un adecuado desarrollo de los Talleres de Identificación de Modos de Fallo y la posterior toma de decisiones. Cabe destacar que el fallo no significa necesariamente la rotura de la infraestructura, sino también la pérdida del servicio que brinde.

Concretamente, el presente Catálogo pretende dar apoyo y complementar a la aplicación a la “Guía Metodológica para la realización de Talleres de Identificación de Modos de Fallo” en **obras de protección frente a inundaciones fluviales, pluviales y marítimas.**

El documento está organizado en **4 secciones**. La primera detalla las **características particulares** de las obras de protección frente a inundaciones a tener en cuenta a la hora de realizar sesiones de Modos de Fallo. Esto va desde qué participantes deben asistir, pasando por los elementos clave de la revisión de información y la visita técnica.

La segunda sección recoge los ejemplos de los **Modos de Fallo más representativos** clasificados según su evento desencadenante. Para cada Modo de Fallo se ha elaborado una ficha, la cual incluye su descripción, un esquema y los factores que influyen en el riesgo. Dichos factores podrán aumentar o disminuir el riesgo en función de en qué situación o de qué información se disponga en cada una de las infraestructuras que se vayan a analizar. Como se comentará más adelante, estos ejemplos son referencias para el lector, el cual deberá definir los Modos de Fallo y factores asociados a su obra de protección frente a inundaciones a lo largo de los talleres y con la participación de todos los integrantes del grupo de trabajo.

Finalmente, la tercera y cuarta sección incluyen una relación de **estudios científico-técnicos** y de **recomendaciones y mejores prácticas**, que quedan agrupados según la tipología de los Modos de Fallo empleada en la segunda sección. Estos dos **últimos** apartados permiten enriquecer las prácticas de intervención de los Talleres de Identificación de Modos de Fallo haciendo hincapié en las cuestiones que pueden presentar una menor definición en los proyectos o que presentan una mayor relevancia en el diseño y la operación de la infraestructura.

## 2. Características particulares para las obras de protección

A lo largo de este apartado se muestran las características particulares asociadas al Taller de Identificación de Modos de Fallo para las obras de protección frente a inundación. En concreto, los aspectos específicos que varían respecto de la metodología general presentada en la guía están relacionados con el mínimo de participantes que deben asistir y la viabilidad o no para realizar la visita técnica online.

### 2.1 Participantes

Las sesiones del Taller de Identificación de Modos de Fallo están constituidas por un facilitador y una serie de participantes. En el caso de obras de protección frente a inundaciones fluviales, pluviales y marítimas es recomendable que como mínimo en el taller haya un técnico experto en los siguientes campos:

- **El diseño de las obras de protección.** Es recomendable la presencia de los técnicos responsables del diseño del proyecto y de la construcción, en su caso, para que compartan su experiencia, las problemáticas acaecidas y posibles modificaciones que sufrió el diseño original, así como el proceso constructivo empleado. Estos participantes enriquecen los talleres de Modos de Fallo, pero no son actores críticos para su desarrollo a excepción de los proyectos en fase de diseño, en los cuales este personal es clave.
- **La hidrología e hidráulica.** Se recomienda invitar al experto/s que haya participado en el estudio de la hidrología e hidráulica durante el diseño de las obras de protección, o en su defecto a un experto en el tema que pueda aportar su opinión. En el caso de inundaciones, la hidrología e hidráulica juegan un papel fundamental en el diseño de las obras de protección. Por ello, esta información es muy importante para entender y evaluar el dimensionamiento de las mismas. Es importante que el experto en hidrología e hidráulica participe en la sesión, independientemente de la fase en la que se encuentre la obra de protección frente a inundaciones a la hora de realizar el taller (proyecto, construcción u operación).
- **Medidas de adaptación al cambio climático.** Los proyectos de obras de protección frente a inundaciones incluyen un estudio hidrológico y/o hidráulico, por lo que puede ser importante la influencia del cambio climático en la intensidad de las precipitaciones y nivel de las crecidas para un determinado periodo de retorno. Por ello se recomienda invitar a un experto en el tema de riesgos de cambio climático que pueda aportar su opinión. Independientemente de la fase de proyecto en la que se realice el taller, se recomienda invitar a esta figura a la sesión.
- **La geología, geotecnia y sismicidad de la zona.** Se recomienda la presencia de un técnico experto en el campo de geología y geotecnia que pueda aportar su opinión respecto de los materiales empleados en las obras de protección, así como de su cimentación. Asimismo, si la obra de protección se encuentra en una zona sísmica, el geólogo debe tener conocimientos suficientes para identificar si se han analizado los riesgos derivados y si se ha diseñado la obra de protección según estas solicitudes. Independientemente de la fase de proyecto en la que se realice el taller, se recomienda invitar a esta figura para participar en la sesión.
- **Mantenimiento.** En caso de estar evaluando una obra de protección frente a inundaciones en fase de operación, se recomienda que los técnicos encargados de realizar las inspecciones y el

mantenimiento de la obra de protección asistan al taller, pues su experiencia puede ser fructífera a la hora de identificar potenciales Modos de Fallo por mal funcionamiento. Por otro lado, si se trata de un proyecto de nueva infraestructura, se recomienda invitar al personal técnico de la entidad que vaya a estar encargado de la operación y el mantenimiento de la infraestructura, pues los resultados de estos talleres les permitirán identificar riesgos en el futuro.

- **Elementos hidromecánicos.** En caso de que las obras de protección frente a inundaciones dispongan de elementos hidromecánicos (compuertas, tomas, etc.), es recomendable que al menos una persona experta en el funcionamiento de estos elementos asista a los talleres cuando sean críticas para la seguridad de la infraestructura.
- **Gestión de emergencias.** En obras de protección frente a inundaciones, la gestión de emergencias es fundamental. Por ello, se recomienda invitar a los talleres al personal encargado de la gestión de emergencias en caso de fallo o mal funcionamiento de la obra de protección. Estos participantes ayudan a comprender las consecuencias derivadas del fallo o mal funcionamiento de la infraestructura y entender cómo está organizado el sistema de gestión de emergencias.
- Para las **obras de protección frente a inundaciones** es relevante la participación de locales y representantes de comunidades minoritarias. Estos participantes pueden aportar conocimientos de la zona relevantes para el desarrollo del taller, por ejemplo, acerca de la efectividad de los medios de aviso a la población en caso de emergencia, su impacto en las comunidades cercanas en caso de rotura o mal funcionamiento o sobre cómo les afectan las amenazas naturales específicas de la zona.
- La **gobernanza del riesgo** en el área de influencia del proyecto. Es recomendable que estos técnicos participen cooperando en comités de Gestión del Riesgo o sean responsables institucionales de ejecutar planes de gestión del riesgo.
- Finalmente, es recomendable la presencia de **expertos externos** al proyecto. Los expertos no solo aportan su vasto conocimiento en obras de protección, sino que ofrecen una visión ajena al proyecto, poniendo de manifiesto aspectos que pueden pasar desapercibidos frente a los técnicos encargados por el simple hecho de estar inmersos en el proyecto.

Si bien estos actores son los recomendables para la realización de talleres de Modos de Fallo para obras de protección frente a inundaciones, hay que estudiar cada obra y analizar qué actores de los presentados en el listado son realmente necesarios para cada caso concreto, así como la necesidad de incorporar otros.

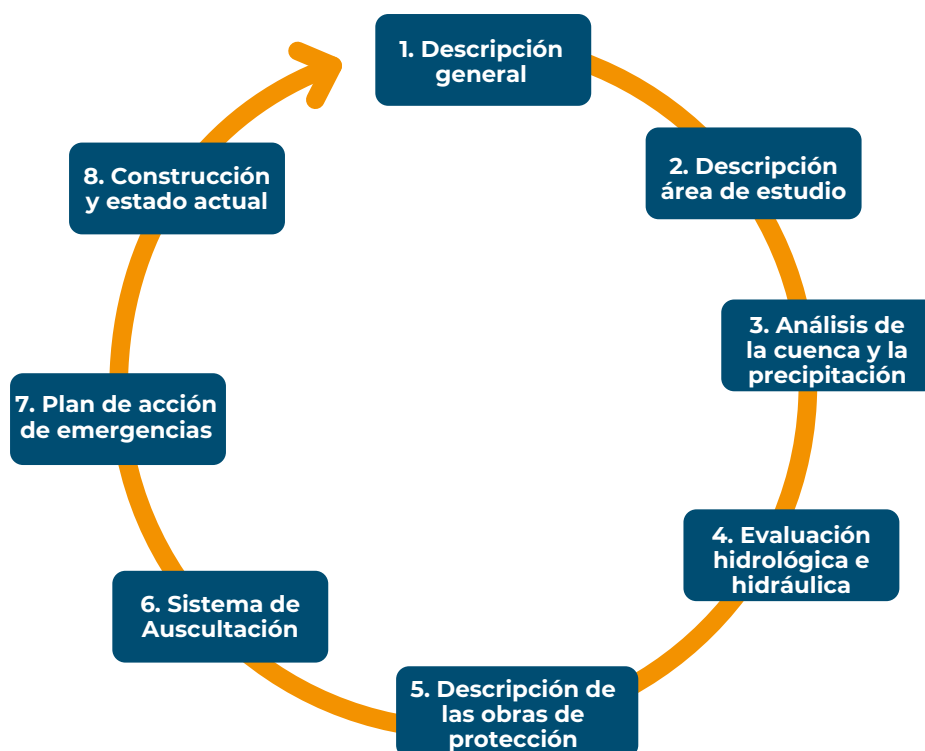
## 2.2 Revisión de información

Tal y como se ha explicado en la “Guía metodológica para la realización de Talleres de Identificación de Modos de Fallo”, la revisión y el análisis de la información existente constituye el primer paso para la identificación de Modos de Fallo y debe cubrir todos los aspectos clave en materia de gestión de seguridad, partiendo de los aspectos relativos a las fases de diseño y construcción de la infraestructura, para pasar a la evaluación del sistema, el funcionamiento y el estado en el que se encuentra la infraestructura.

La revisión de información debe incluir los puntos clave de los documentos. Por ello, desde el punto de vista conceptual, los elementos fundamentales que deben considerarse durante la revisión de información para el análisis de obras de protección frente a inundaciones se muestran en la Figura 1.

Algunos puntos clave mencionados en este esquema no serán necesarios según en qué fase de proyecto se encuentre la infraestructura. Por ejemplo, como es previsible, el estado actual no se considerará en una infraestructura en fase de proyecto.

**Figura 1. Elementos clave de la revisión de información.**



### **2.3. Visita técnica**

La visita técnica es una de las principales etapas de los talleres, ya que te permite tener una visión integral del estado actual de la infraestructura y detectar posibles daños que puedan derivar en el fallo de la infraestructura.

Esta tarea es recomendable realizarla de manera presencial, ya que permite una inspección más detallada por parte de los expertos. Sin embargo, en algunas infraestructuras, se puede plantear su realización online en caso de que la opción presencial no sea viable logísticamente.

En este apartado se presenta la viabilidad o no de inspeccionar las obras de protección frente a inundaciones de manera online.

#### **Obras de protección frente a inundaciones pluviales y fluviales**

La visita técnica a obras de protección frente a inundaciones pluviales y fluviales, construidas o no, debe realizarse de manera presencial, pues es muy útil y necesaria. Permite al equipo tener una idea de la dinámica de la población, conocer la zona, dónde se localizan las poblaciones, dónde se localizan las obras de protección, cuáles son sus características básicas (dimensiones y materiales), conocimiento de primera mano de inundaciones históricas, medidas, etc., la cual no podría adquirirse de manera online a través de videos realizados por dron.

#### **Obras de protección marítimas**

Para obras de protección marítimas sí es viable realizarla de manera online, tanto en fase de diseño como en fase de explotación, pues a partir de imágenes y vuelos dron es relativamente sencillo observar el estado de la infraestructura, lo cual no descarta que se pueda realizar de manera presencial. Asimismo, sería recomendable complementar la inspección con algún video submarino que permita observar la disposición de los elementos de la base del dique, ya que éstos pueden sufrir daños a lo largo del tiempo y derivar en el fallo de la obra.

## 3. Modos de Fallo

A continuación, se enumeran los Modos de Fallo más característicos para obras de protección frente a inundaciones, clasificados según su tipología: Modo de Fallo por inundación pluvial, por inundación fluvial, por inundación marítima y por el sistema de gestión de riesgo.

### 3.1. Modos de Fallo por inundación pluvial: 11

- Falta de capacidad de arroyos. 11
- Inundación por falta de capacidad del drenaje urbano. 12
- Inundación por ahogamiento de drenaje con nivel alto del río. 13
- Imposibilidad de drenaje por dique. 14
- Subida de nivel del río impide drenaje pluvial. 15
- Arrastre de material en cuencas altas. 16

### 3.2. Modos de Fallo por inundación fluvial: 17

- Inundación fluvial. 17
- Daños antrópicos en diques. 18
- Sobrepaso de diques. 19
- Erosión en pie de dique. 20
- Erosión de dique por trasdós. 21
- Erosión de estribos de obra de paso. 22
- Bordos en un margen aumentan la erosión en la otra. 23
- Erosión de pie de gaviones. 24
- Erosión de transición de gaviones. 25
- Deslizamiento/vuelco gaviones. 26
- Daño en muro de gaviones y vuelco. 27
- Aumento de vegetación y pérdida de capacidad del cauce/canal de drenaje. 28
- Acumulación de sedimentos en el cauce. 29
- Bloqueo de compuertas en arroyos. 30
- Imposibilidad de cerrar compuertas. 31
- Inundación por discontinuidades en los bordos. 32
- Tubificación, rotura de bordos e inundación. 33

### 3.2. Modos de Fallo por inundación marítima: 34

- Inundación marítima. 34
- Fallo por erosión de playas y sus sistemas dunares. 35
- Aumento de asentamientos informales en zonas protegidas. 36
- Fallo de la mota a causa de la acción del oleaje. 37
- Fallo de la mota por sobrepaso. 38



### 3.4. Modos de Fallo por sistema de gestión del riesgo: 39

- Ineficacia del sistema de avisos. 39
- Aumento de desarrollos urbanos. 40
- Conflictos sociales. 41
- Asentamiento humano en las áreas de sacrificio. 42
- Daños medioambientales por vertidos. 43
- Incorrecta gestión de embalse y descargas aguas abajo. 44

A continuación, se desarrollan los Modos de Fallo más representativos para infraestructuras de protección frente a inundaciones y se detallan los factores que influyen en el riesgo del Modo de Fallo. Tanto los Modos de Fallo como los factores están definidos de manera general, es decir, el lector los puede emplear como referencia, pero deberá desarrollar sus propios Modos de Fallo a lo largo del taller y con la participación de todos los integrantes del grupo de trabajo.

Asimismo, los factores están redactados de manera neutra para cada Modo de Fallo con la finalidad de que el lector los tome como referencia, teniendo él mismo que decidir para su caso concreto si los factores aumentan o disminuyen el riesgo de su Modo de Fallo.

Existen una serie de factores que, de alguna manera, influyen en el riesgo de todos los Modos de Fallo. Por este motivo, y con el fin de evitar repeticiones en cada una de las descripciones realizadas para cada uno de los Modos de Fallo característicos, se presentan estos factores en el siguiente listado y no se repiten en las tablas posteriores.

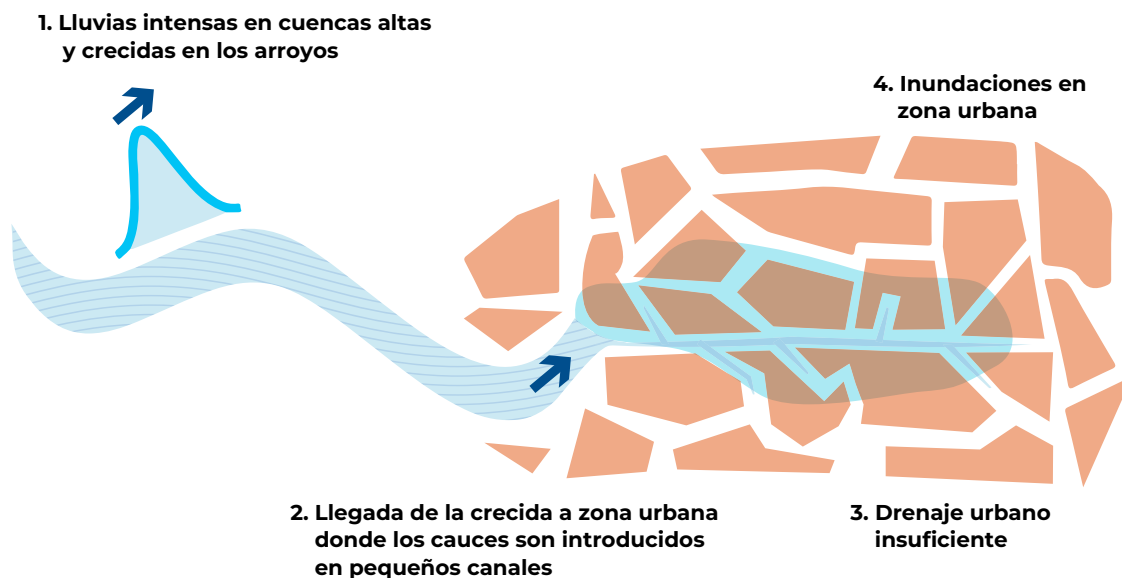
#### **Factores que considerar en todos los Modos de Fallo de las obras de protección frente a inundaciones:**

- Disponibilidad de recursos para los estudios previos o de preinversión de los proyectos de protección frente a inundaciones.
- Control de calidad y supervisión en el diseño de las obras de protección frente a inundaciones y en su construcción.
- Existencia de desarrollos urbanos incontrolados y/o existencia de asentamientos fuera de los límites de protección.
- Disponibilidad de planes y programas para coordinar las actuaciones entre diferentes municipios y entidades.
- Definición de responsabilidades para el mantenimiento de los cauces entre los municipios.
- Existencia de marco legal e institucional de regulación.
- Existencia de sistemas de alerta temprana frente a inundaciones.
- Existencia de Planes de Actuación Durante Emergencias.
- Campañas de información y sensibilización de la comunidad sobre la importancia y los riesgos frente a inundaciones.
- Antropización de la cuenca que pueda aumentar la impermeabilidad del terreno.

### 3.1. Modos de Fallo por inundación pluvial

#### FALTA DE CAPACIDAD DE ARROYOS

En escenario hidrológico, se produce una precipitación significativa en las cuencas altas de los arroyos que produce en ellos una crecida de gran magnitud. Al llegar esta crecida a la trama urbana, y debido a la reducción del área de los canales por el desarrollo y el drenaje urbanos insuficiente, estas crecidas producen inundaciones en las viviendas circundantes.



#### Factores que influyen en el riesgo

- Disponibilidad de datos de precipitaciones, existencia de redes de estaciones meteorológicas y variabilidad geográfica de la precipitación.
- Influencia del cambio climático en la intensidad de las precipitaciones y el nivel de las crecidas para un determinado periodo de retorno.
- Disponibilidad de estudios hidráulicos del funcionamiento del cauce.
- Antropización de la cuenca.
- Existencia de sistema de alcantarillado separativo.
- Labores de mantenimiento y vigilancia del cauce.
- Existencia de deforestación en la cuenca, que pueda generar erosión, arrastre de sedimentos, mayores picos de avenida y menores tiempos de concentración.
- Presencia de reducciones de secciones en los canales de los afluentes y en el cauce debido al desarrollo urbano, llegando incluso a la desaparición del cauce.

## INUNDACIÓN POR FALTA DE CAPACIDAD DEL DRENAJE URBANO

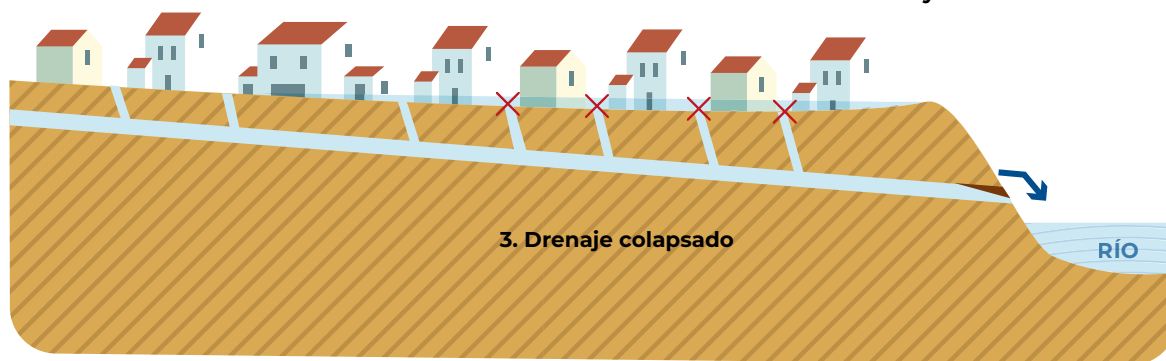
En escenario hidrológico, se produce una precipitación significativa. El drenaje existente es insuficiente para evacuar las escorrentías producidas, provocando el colapso del sistema de drenaje y la inundación de calles y viviendas.

### 1. Lluvias de alta intensidad en zona urbana



### 2. Capacidad del drenaje insuficiente

### 4. Inundaciones de viviendas y calles



## Factores que influyen en el riesgo

- Disponibilidad de datos de precipitaciones, existencia de redes de estaciones meteorológicas y variabilidad geográfica de la precipitación.
- Influencia del cambio climático en la intensidad de las precipitaciones y el nivel de las crecidas para un determinado periodo de retorno.
- Disponibilidad de estudios hidráulicos de las obras de drenaje.
- Antropización de la cuenca.
- Existencia de sistema de alcantarillado separativo.
- Labores de mantenimiento y vigilancia de las obras de drenaje.

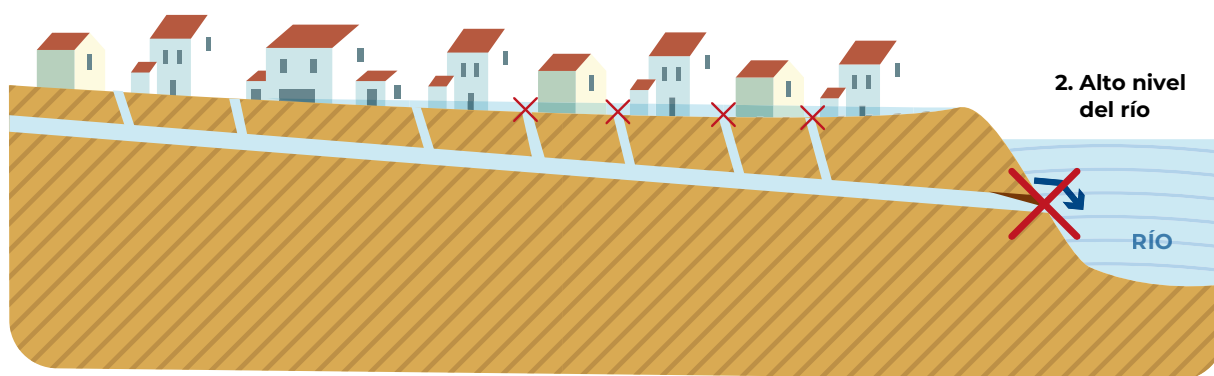
## INUNDACIÓN POR AHOGAMIENTO DE DRENAJE CON NIVEL ALTO DEL RÍO

En escenario hidrológico, se produce una precipitación significativa en la zona urbana mientras el nivel del río está elevado. El drenaje se encuentra ahogado en la salida y es imposible la descarga provocando la inundación de calles y viviendas.

### 1. Lluvias de alta intensidad en zona urbana



### 4. Inundaciones de viviendas y calles



### 3. Drenaje ahogado en la salida

## Factores que influyen en el riesgo

- Disponibilidad de datos de precipitaciones, existencia de redes de estaciones meteorológicas y variabilidad geográfica de la precipitación.
- Influencia del cambio climático en la intensidad de las precipitaciones y el nivel de las crecidas para un determinado periodo de retorno.
- Disponibilidad de estudios hidráulicos de las obras de drenaje.
- Antropización de la cuenca.
- Existencia de sistema de alcantarillado separativo.
- Labores de mantenimiento y vigilancia de las obras de drenaje.

## IMPOSIBILIDAD DE DRENAJE POR DIQUE

En escenario hidrológico, las lluvias de cierta intensidad producirán escorrentías a través de los caminos de drenaje del terreno y la trama urbana hacia el cauce. Si el drenaje a través de los diques de protección no tiene suficiente capacidad para drenar estas lluvias, se puede producir un almacenamiento temporal de agua aguas arriba de estos diques que resulte en inundaciones de las viviendas más cercanas al cauce.



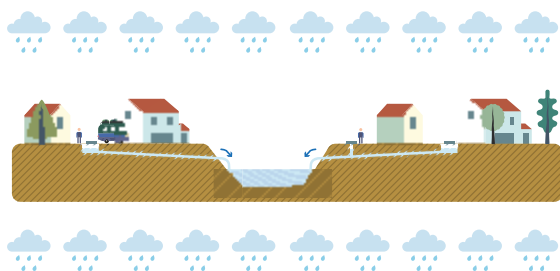
## Factores que influyen en el riesgo

- Disponibilidad de datos de precipitaciones, existencia de redes de estaciones meteorológicas y variabilidad geográfica de la precipitación.
- Influencia del cambio climático en la intensidad de las precipitaciones y el nivel de las crecidas para un determinado periodo de retorno.
- Adecuado dimensionamiento de las obras de drenaje.
- Existencia de deforestación en la cuenca que pueda generar erosión, arrastre de sedimentos y el mal funcionamiento del drenaje.
- Disponibilidad de estudios y ensayos geotécnicos.
- Obstrucción de los canales de drenaje del municipio.
- Disponibilidad de planes y programas para coordinar las actuaciones de drenaje entre diferentes municipios y entidades.
- Existencia de sistema de alcantarillado separativo.
- Labores de mantenimiento y vigilancia de los canales de drenaje.
- Existencia de compuertas en las obras de protección frente a inundaciones.

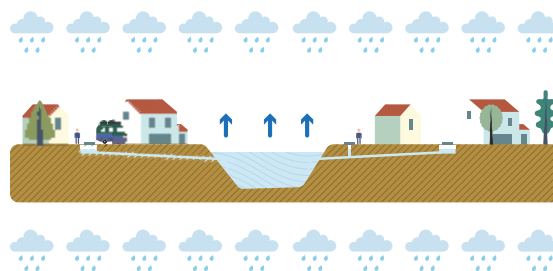
## SUBIDA DE NIVEL DEL RÍO IMPIDE DRENAJE PLUVIAL

En escenario hidrológico, se producen lluvias de alta intensidad o temporal que generan crecidas en los ríos. Consecuentemente se aumenta el nivel del agua en los cauces, repercutiendo en un ahogamiento del sistema de drenaje pluvial existente en las localidades. Ante la imposibilidad de desagüe y la persistencia de las precipitaciones, se inundan las zonas urbanas.

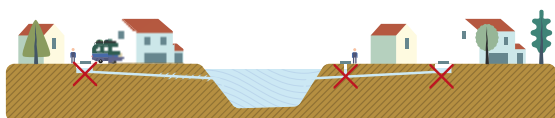
### 1. Lluvias intensas y escenario de crecidas



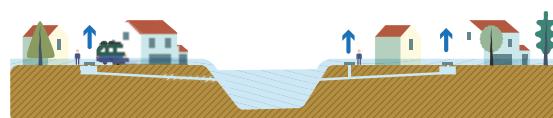
### 2. Subida del nivel del cauce



### 3. Imposibilidad de drenaje de agua pluviales



### 4. Inundación de zonas urbanas



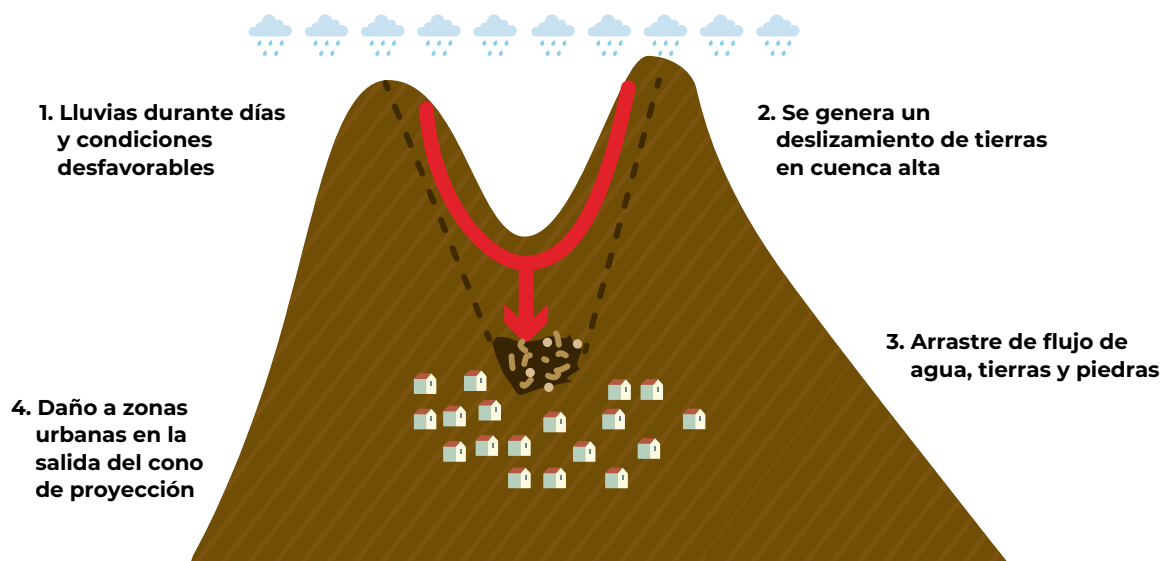
## Factores que influyen en el riesgo

- Disponibilidad de datos de precipitaciones, existencia de redes de estaciones meteorológicas y variabilidad geográfica de la precipitación.
- Influencia del cambio climático en la intensidad de las precipitaciones y el nivel de las crecidas para un determinado periodo de retorno.
- Adecuado dimensionamiento de las obras de drenaje.
- Existencia de deforestación en la cuenca que pueda generar erosión, arrastre de sedimentos y el mal funcionamiento del drenaje.
- Existencia de obstrucciones en el cauce.
- Existencia de sedimentación continuada y progresiva en el cauce.
- Disponibilidad de planes y programas para coordinar las actuaciones de drenaje entre diferentes municipios y entidades.
- Existencia de sistema de alcantarillado separativo.
- Labores de mantenimiento y vigilancia del drenaje, del cauce y de sus márgenes.
- Disponibilidad de estudios hidráulicos del funcionamiento del cauce.
- Conocimiento de los planes, campañas y normativas por parte de la población.



## ARRASTRE DE MATERIAL EN CUENCAS ALTAS

Tras varios días seguidos de lluvias, existe una alta humedad del suelo en las cuencas altas que activa un deslizamiento de gran magnitud en alguna de las cuencas altas en los alrededores. Este deslizamiento de tierra genera un gran flujo de material hacia aguas abajo, compuesto por una combinación de agua, tierra y piedras, que además se lleva por delante todos los diques de retención de sedimentos localizados en la cuenca. Finalmente, este arrastre de material llega a la zona urbana localizada a la salida del cono de deyección con importantes consecuencias económicas y sociales.



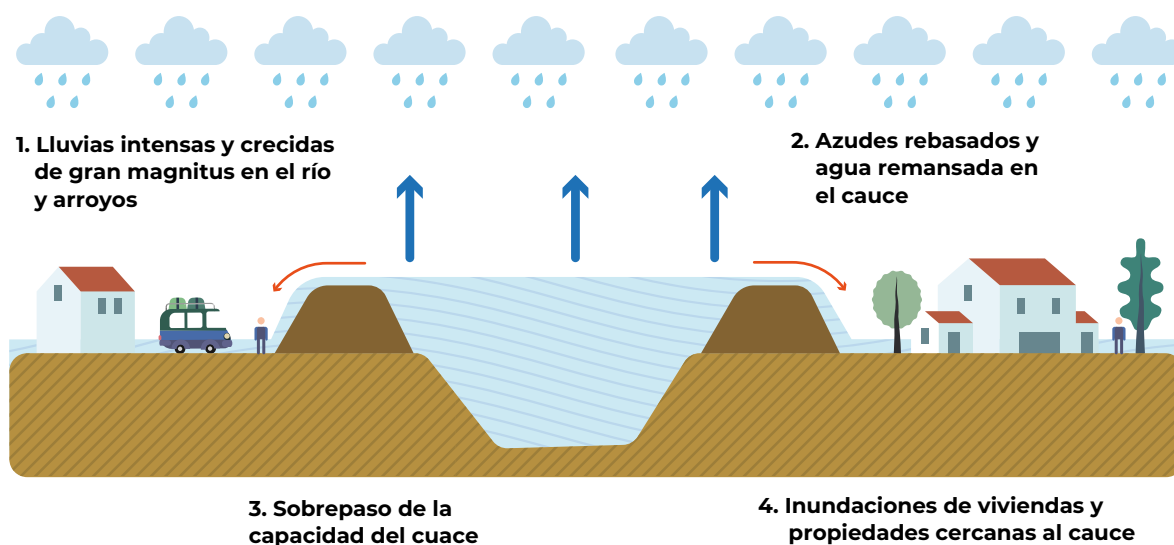
## Factores que influyen en el riesgo

- Disponibilidad de datos de precipitaciones, existencia de redes de estaciones meteorológicas y variabilidad geográfica de la precipitación.
- Influencia del cambio climático en la intensidad de las precipitaciones y el nivel de las crecidas para un determinado periodo de retorno.
- Disponibilidad de estudios y ensayos geotécnicos.
- Disponibilidad de estudios sobre caracterización de los suelos y los potenciales procesos de erosión y sedimentación de las cuencas altas de las zonas urbanas.
- Existencia de deforestación en la cuenca, que pueda generar erosión, arrastre de sedimentos, mayores picos de avenida y menores tiempos de concentración.
- Presencia de instrumentación y vigilancia en las cuencas para detectar problemas.
- Existencia de diques en cuencas altas que pueden ser arrastrados incrementando el volumen de material.
- Antropización de la cuenca.
- Existencia de vegetación.
- Disponibilidad de recursos.
- Identificación de zonas críticas por los deslizamientos.
- Existencia de programas de manejo de cuenca.
- Existencia de concienciación social.

### 3.2. Modos de Fallo por inundación fluvial

#### INUNDACIÓN FLUVIAL

En escenario hidrológico, se produce una precipitación significativa en la cuenca del río y/o las cuencas de los arroyos que produce una crecida de gran magnitud en el río. Esta crecida produce un rebase de los diferentes azudes localizados en el cauce que contribuyen a remansar el agua. Finalmente, al aumentar el caudal de crecida, se produce un sobrepaso de la capacidad del cauce lo que produce inundaciones en las viviendas y propiedades alrededor del río.

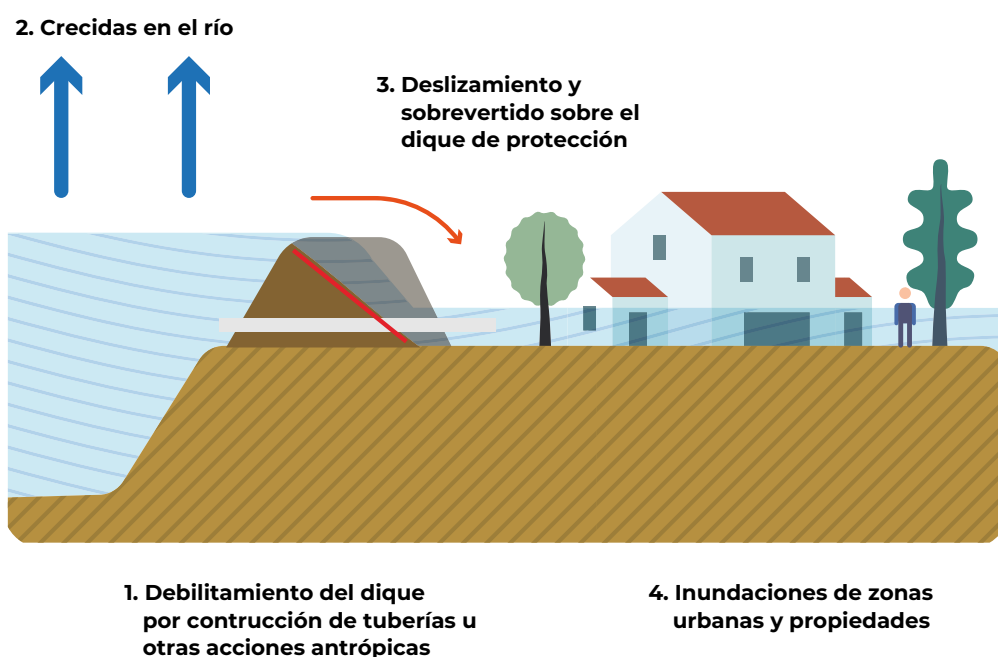


#### Factores que influyen en el riesgo

- Disponibilidad de datos de precipitaciones, existencia de redes de estaciones meteorológicas y variabilidad geográfica de la precipitación.
- Influencia del cambio climático en la intensidad de las precipitaciones y el nivel de las crecidas para un determinado periodo de retorno.
- Existencia de deforestación en la cuenca, que pueda generar erosión, arrastre de sedimentos, mayores picos de avenida y menores tiempos de concentración.
- Existencia de vegetación.
- Disponibilidad de planes y programas para coordinar las actuaciones de drenaje entre diferentes municipios y entidades.
- Labores de mantenimiento y vigilancia de los diques.
- Disponibilidad de estudios hidráulicos del funcionamiento del cauce.
- Presencia de reducciones de secciones en los canales de los afluentes y en el cauce debido al desarrollo urbano, llegando incluso a la desaparición del cauce.
- Existencia de protección aguas abajo del dique que evite la erosión del pie.
- Adecuado diseño hidráulico del dique.
- Adecuado diseño estructural del dique.

## DAÑOS ANTRÓPICOS EN DIQUES

Durante la explotación de los diques de protección, se produce un debilitamiento de la estructura de los diques por acciones antrópicas como, por ejemplo, la construcción de tuberías en el cuerpo del dique para extraer agua del río para riego, la construcción de tuberías de drenaje, la construcción de puentes en el río/arroyos o la mala planificación de nuevos diques de protección. En escenario hidrológico, se produce una crecida en el río que produce un empuje sobre los diques que, al encontrarse débiles estructuralmente, acaban fallando por deslizamiento, produciendo una inundación de las zonas colindantes con elevadas consecuencias económicas y sociales.

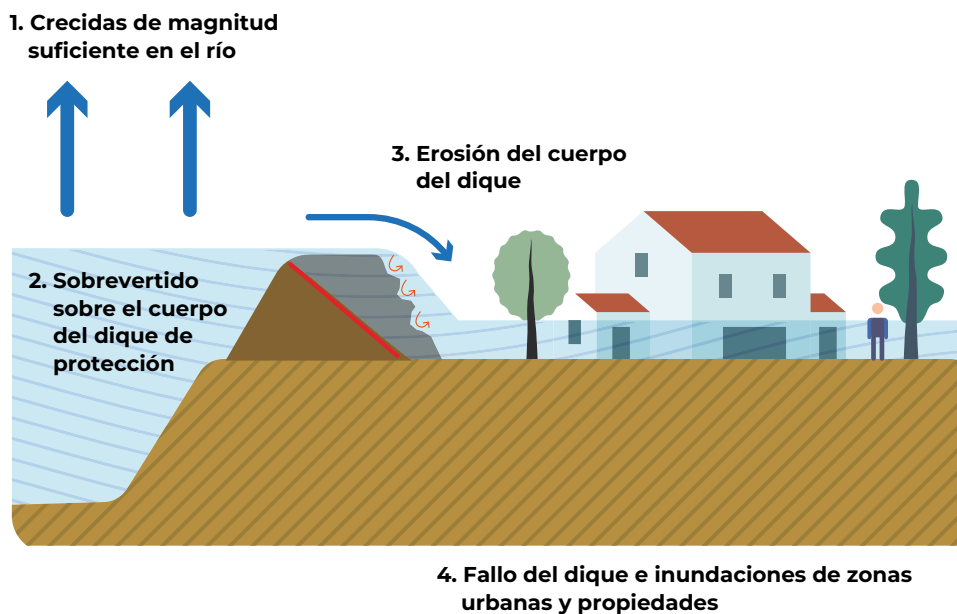


## Factores que influyen en el riesgo

- Disponibilidad de datos de precipitaciones, existencia de redes de estaciones meteorológicas y variabilidad geográfica de la precipitación.
- Influencia del cambio climático en la intensidad de las precipitaciones y el nivel de las crecidas para un determinado periodo de retorno.
- Existencia de industrias agrícolas y ganaderas junto al río.
- Labores de mantenimiento y vigilancia de los diques de protección.
- Registro y control de los puntos de extracción de agua para riego.
- Labores de vigilancia y control de la construcción de tuberías y canales a través de los diques.
- Adecuado dimensionamiento de las obras de protección.
- Existencia de deforestación en la cuenca que pueda generar erosión, arrastre de sedimentos y el mal funcionamiento de los diques.

## SOBREPASO DE DIQUES

En escenario hidrológico, se produce una crecida en el río y sus arroyos de magnitud suficiente que acaba superando los diques de protección. El paso de agua sobre la cresta de los diques produce una erosión de su cuerpo y la apertura de una brecha por la que pasa el agua, causando una inundación de las zonas colindantes con elevadas consecuencias económicas y sociales.



### Factores que influyen en el riesgo

- Disponibilidad de datos de precipitaciones, existencia de redes de estaciones meteorológicas y variabilidad geográfica de la precipitación.
- Influencia del cambio climático en la intensidad de las precipitaciones y el nivel de las crecidas para un determinado periodo de retorno.
- Existencia de deforestación en la cuenca, que pueda generar erosión, arrastre de sedimentos, mayores picos de avenida y menores tiempos de concentración.
- Existencia de programas de manejo de cuenca.
- Disponibilidad de planes y programas para coordinar las actuaciones de drenaje entre diferentes municipios y entidades.
- Existencia de protección frente a erosión en el dique.
- Adecuado diseño hidráulico del dique.
- Adecuado diseño estructural del dique.
- Disponibilidad de estudios y ensayos geotécnicos del material que conforma el dique.
- Labores de mantenimiento y vigilancia de los diques de protección.

## EROSIÓN EN PIE DE DIQUE

Debido al transcurso del flujo por el río y la falta de protección y mantenimiento en los diques de protección, se produce una erosión localizada en el pie de este dique que puede ir aumentando a lo largo del tiempo. En escenario hidrológico, se produce una crecida en el río que produce un empuje sobre los diques que, al encontrarse débiles estructuralmente por la erosión en su pie, acaban fallando por deslizamiento, produciendo una inundación de las zonas colindantes con elevadas consecuencias económicas y sociales.

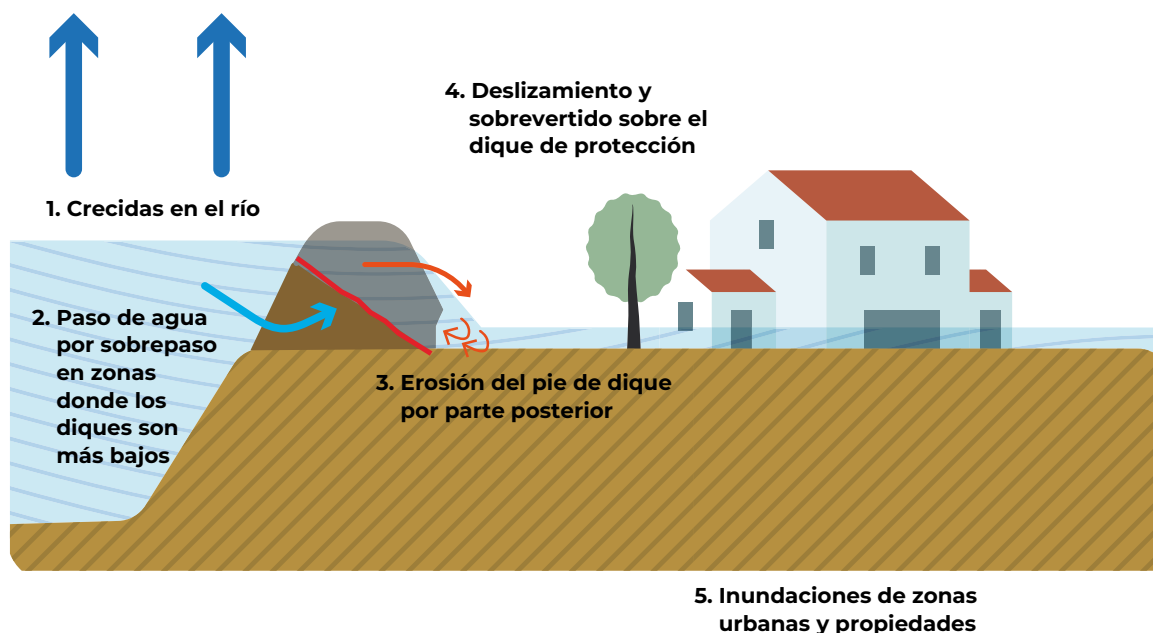


## Factores que influyen en el riesgo

- Disponibilidad de datos de precipitaciones, existencia de redes de estaciones meteorológicas y variabilidad geográfica de la precipitación.
- Influencia del cambio climático en la intensidad de las precipitaciones y el nivel de las crecidas para un determinado periodo de retorno.
- Labores de mantenimiento y vigilancia de los diques de protección.
- Existencia de deforestación en la cuenca que pueda generar erosión, arrastre de sedimentos y el mal funcionamiento de los diques.
- Adecuado diseño hidráulico y estructural del dique.
- Disponibilidad de estudios y ensayos geotécnicos del material que conforma el dique.
- Existencia de protección aguas abajo del dique que evite la erosión del pie.
- Presencia de instrumentación y vigilancia en las cuencas para detectar problemas.
- Existencia de vegetación que ayude a estabilizar los taludes de los diques.
- Labores de mantenimiento y vigilancia de los diques

## EROSIÓN DE DIQUE POR SU TRASDÓS O ESPALDÓN

En escenario hidrológico, se produce una crecida del río que produce un sobrepaso de los diques de protección en sus zonas más bajas. Esto produce una inundación de los diques más altos por su parte trasera y una erosión del cuerpo del dique en esta zona no preparada para resistir inundaciones. Finalmente, esta erosión produce un fallo de los diques principales por deslizamiento, produciendo una inundación de las zonas colindantes con elevadas consecuencias económicas y sociales.

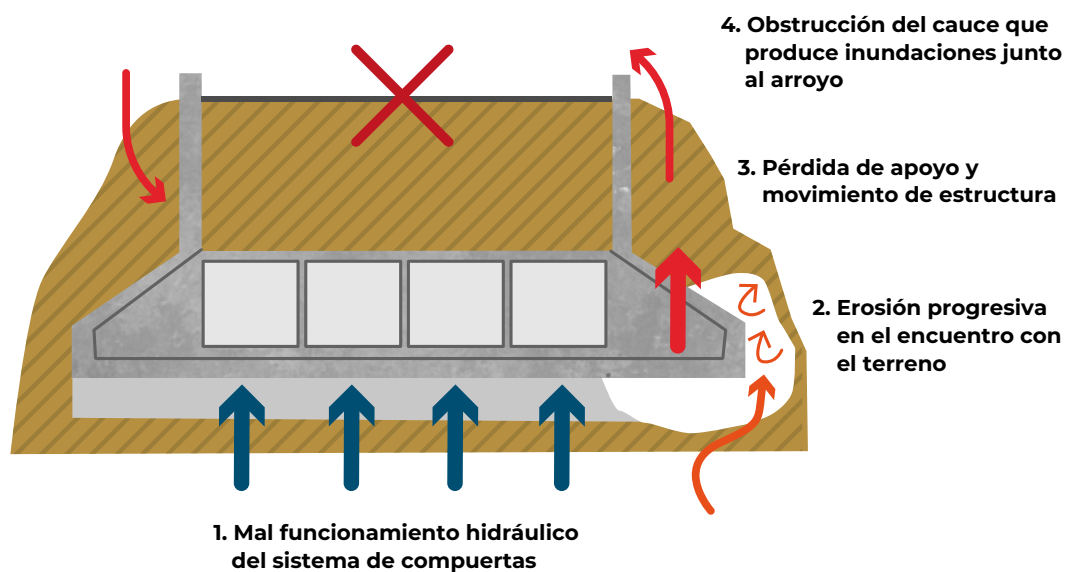


### Factores que influyen en el riesgo

- Disponibilidad de datos de precipitaciones, existencia de redes de estaciones meteorológicas y variabilidad geográfica de la precipitación.
- Influencia del cambio climático en la intensidad de las precipitaciones y el nivel de las crecidas para un determinado periodo de retorno.
- Labores de mantenimiento y vigilancia de los diques de protección.
- Existencia de deforestación en la cuenca que pueda generar erosión, arrastre de sedimentos y el mal funcionamiento de los diques.
- Adecuado diseño estructural del dique.
- Disponibilidad de estudios y ensayos geotécnicos del material que conforma el dique.

## EROSIÓN DE ESTRIBOS DE OBRA DE PASO

Debido al mal funcionamiento hidráulico de la estructura de hormigón-compuestas y la falta de mantenimiento, se produce una erosión localizada en la unión de la estructura de hormigón con el terreno que puede ir aumentando a lo largo del tiempo. En escenario hidrológico, se produce una crecida en uno de los arroyos que profundiza la erosión en la transición, por lo que la estructura acaba separada del terreno y se produce una pérdida de función de estas obras, una erosión de las márgenes y la obstrucción del cauce del arroyo, empeorando su funcionamiento hidráulico.



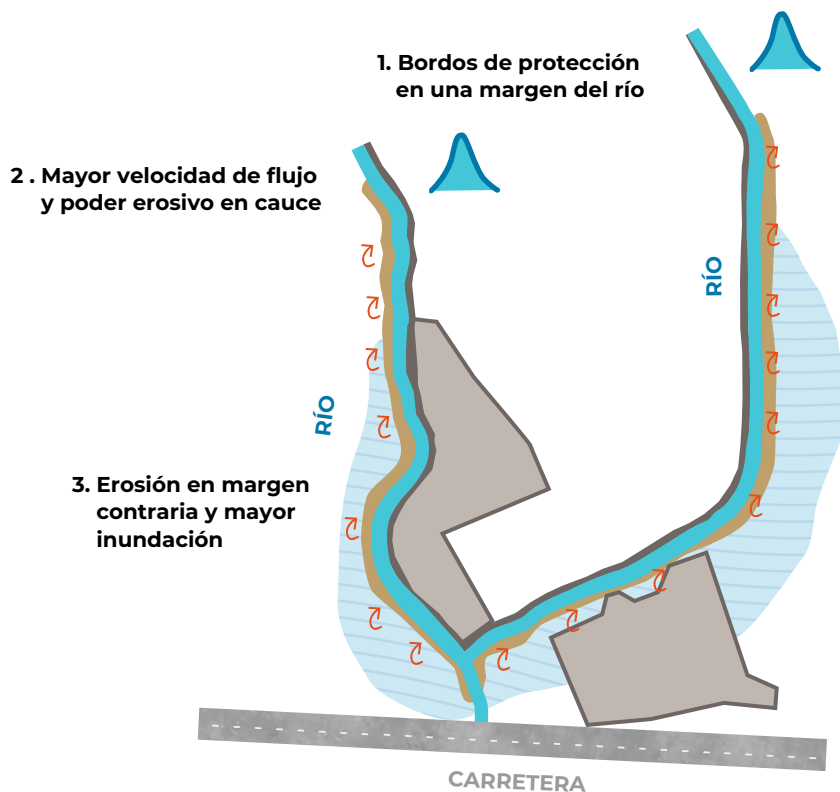
### Factores que influyen en el riesgo

- Disponibilidad de estudios y ensayos geotécnicos.
- Presencia de instrumentación y vigilancia en las cuencas para detectar problemas.
- Labores de mantenimiento y vigilancia del cauce y las compuertas.
- Disponibilidad de estudios hidráulicos del funcionamiento del cauce.



## BORDOS EN UN MARGEN AUMENTAN LA EROSIÓN EN LA OTRA

La construcción de los bordos de protección en una de las márgenes del río obliga al agua a discurrir por el cauce del propio río dificultando el desbordamiento del mismo. El hecho de encauzar el agua del río provoca un aumento de velocidades y del poder erosivo del agua, al impedir que el agua exceda el cauce y se extienda por las zonas colindantes. Como consecuencia, se produce una desestabilización en la margen contraria con fenómenos erosivos y una mayor inundación, con impactos medioambientales, económicos y sociales.

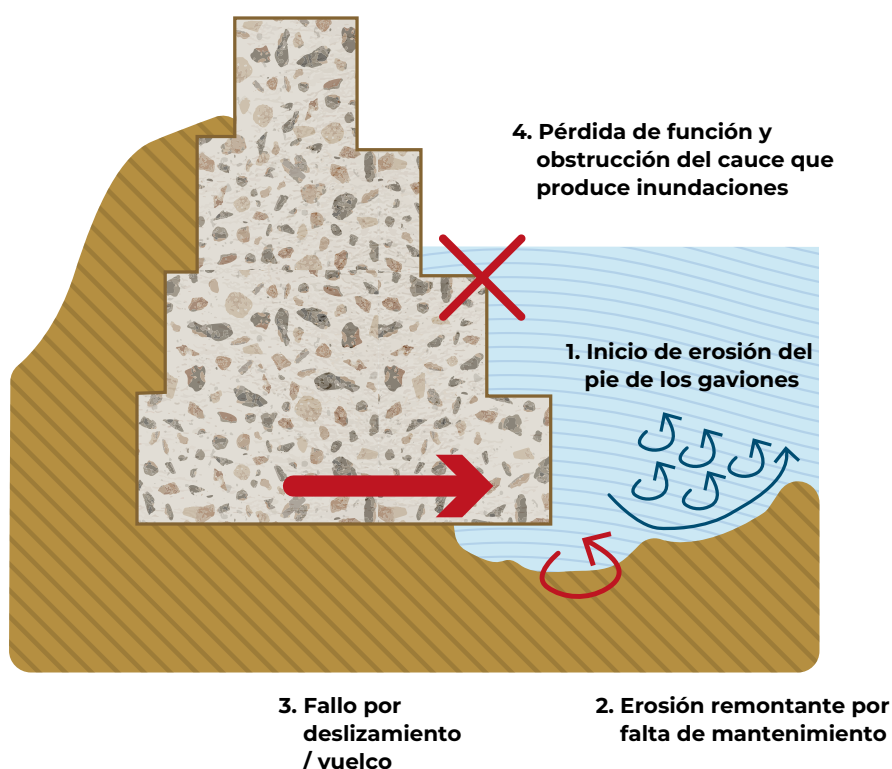


## Factores que influyen en el riesgo

- Disponibilidad de estudios y ensayos geotécnicos.
- Disponibilidad de estudios sobre caracterización de los suelos y los potenciales procesos de erosión y sedimentación de las cuencas.
- Existencia de deforestación en la cuenca, que pueda generar erosión, arrastre de sedimentos, mayores picos de avenida y menores tiempos de concentración.
- Presencia de instrumentación y vigilancia en las cuencas para detectar problemas.
- Existencia de vegetación.
- Existencia de programas de manejo de cuenca.
- Labores de mantenimiento y vigilancia del cauce y sus márgenes.
- Disponibilidad de estudios hidráulicos del funcionamiento del cauce.

## EROSIÓN DE PIE DE GAVIONES

Debido al transcurso del flujo por el río y la falta de protección y mantenimiento del pie de las protecciones con gaviones, se produce una erosión localizada en el pie de esta protección que puede ir aumentando a lo largo del tiempo. En escenario hidrológico, se produce una crecida en el río que profundiza la erosión remontante en el pie de las protecciones, por lo que acaban quedando descolgados y fallando por una combinación de deslizamiento y vuelco. Este fallo produce una pérdida de esos gaviones, una erosión de las márgenes y la obstrucción del cauce del río, empeorando su funcionamiento hidráulico.



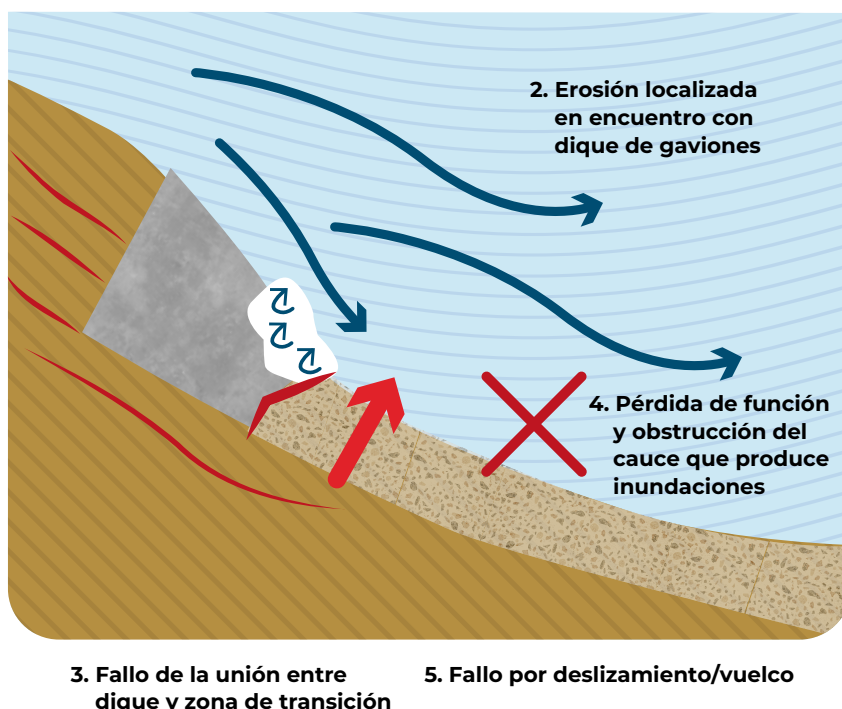
## Factores que influyen en el riesgo

- Disponibilidad de datos de precipitaciones, existencia de redes de estaciones meteorológicas y variabilidad geográfica de la precipitación.
- Influencia del cambio climático en la intensidad de las precipitaciones y el nivel de las crecidas para un determinado periodo de retorno.
- Disponibilidad de estudios y ensayos geotécnicos.
- Presencia de instrumentación y vigilancia en las cuencas para detectar problemas.
- Labores de mantenimiento y vigilancia de las protecciones con gaviones.
- Existencia de protección debajo de los gaviones que evite la erosión del pie.
- Presencia de tráfico rodado por la cresta de los diques y proyecciones.
- Adecuado diseño estructural de los diques.

## EROSIÓN DE TRANSICIÓN DE GAVIONES

Debido al transcurso del flujo por el río y la falta de mantenimiento y/o la mala ejecución de la zona de transición entre la protección de gaviones y el terreno natural, se produce una erosión localizada en esta transición que puede ir aumentando a lo largo del tiempo. En escenario hidrológico, se produce una crecida en el río que profundiza la erosión en la transición de las protecciones, por lo que acaban separados y fallando por una combinación de deslizamiento y vuelco debido al empuje del terreno. Este fallo produce una pérdida de función de esos gaviones, una erosión de las márgenes y la obstrucción del cauce del río, empeorando su funcionamiento hidráulico.

### 1. Falta de protección en zona de transición



### 3. Fallo de la unión entre dique y zona de transición

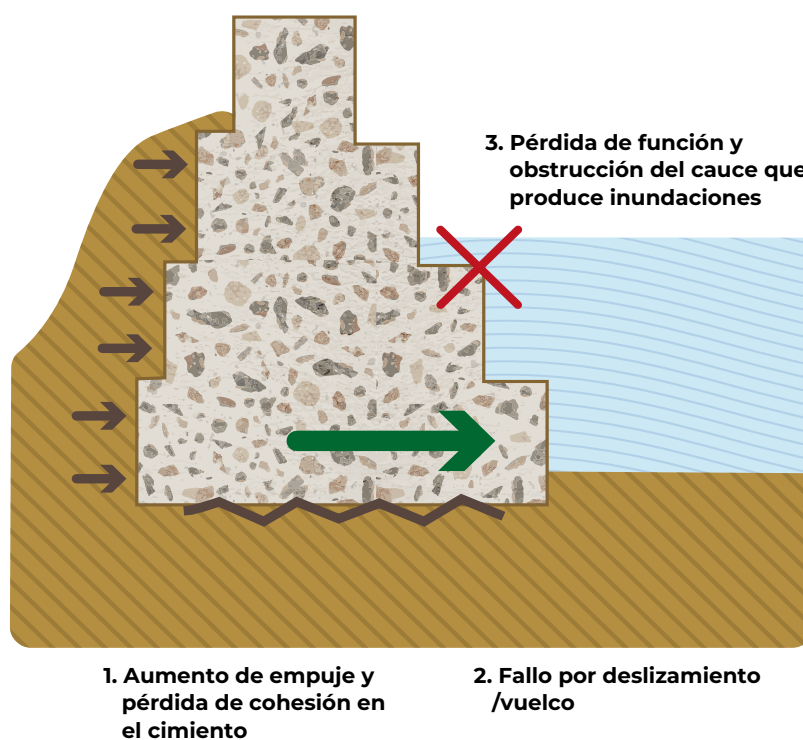
### 5. Fallo por deslizamiento/vuelco

## Factores que influyen en el riesgo

- Disponibilidad de datos de precipitaciones, existencia de redes de estaciones meteorológicas y variabilidad geográfica de la precipitación.
- Influencia del cambio climático en la intensidad de las precipitaciones y el nivel de las crecidas para un determinado periodo de retorno.
- Disponibilidad de estudios y ensayos geotécnicos.
- Presencia de instrumentación y vigilancia en las cuencas para detectar problemas.
- Labores de mantenimiento y vigilancia de las protecciones con gaviones.
- Presencia de tráfico rodado por la cresta de los diques y proyecciones.
- Adecuado diseño estructural de los diques.

## DESLIZAMIENTO/VUELCO DE GAVIONES

Debido al aumento del empuje del terreno sobre las protecciones de gavión, se produce un movimiento relativo de estas protecciones respecto al terreno y una pérdida de cohesión con el cemento. Este movimiento continúa aumentando hasta producir el fallo de los gaviones por una combinación de deslizamiento y vuelco. Este fallo produce una pérdida de función de estos gaviones, una erosión de las márgenes y la obstrucción del cauce del río, empeorando su funcionamiento hidráulico.

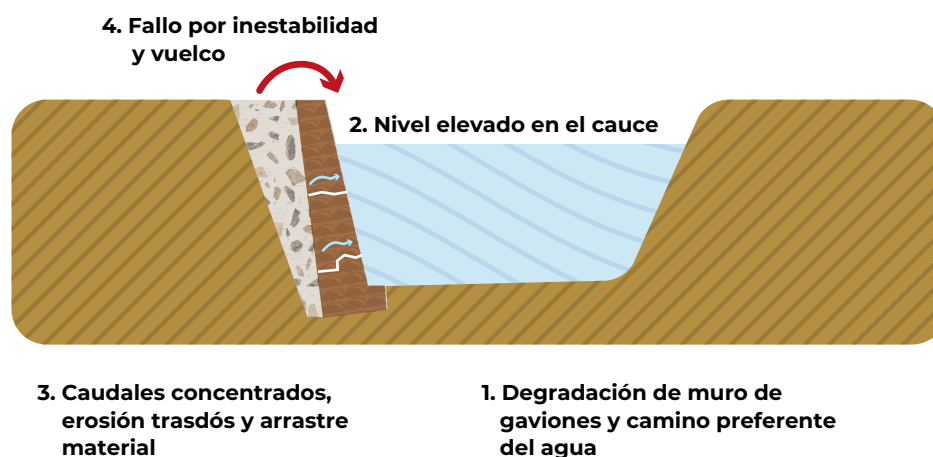


## Factores que influyen en el riesgo

- Disponibilidad de estudios y ensayos geotécnicos.
- Presencia de instrumentación y vigilancia en las cuencas para detectar problemas.
- Labores de mantenimiento y vigilancia de las obras de protección.
- Adecuado diseño estructural del dique.
- Presencia de tráfico rodado por la cresta de los diques y proyecciones.

## DAÑO EN MURO DE GAVIONES Y VUELCO

Cuando existen filtraciones de agua a través del cuerpo del muro de gaviones, a lo largo del tiempo, estas filtraciones van generando caminos de flujo preferente. En escenario hidrológico, se producen niveles elevados en el río provocando caudales concentrados por esos caminos, arrastrando material del trasdós del muro hacia el río. Finalmente, estos procesos acaban en el fallo del muro por vuelco y deslizamiento.

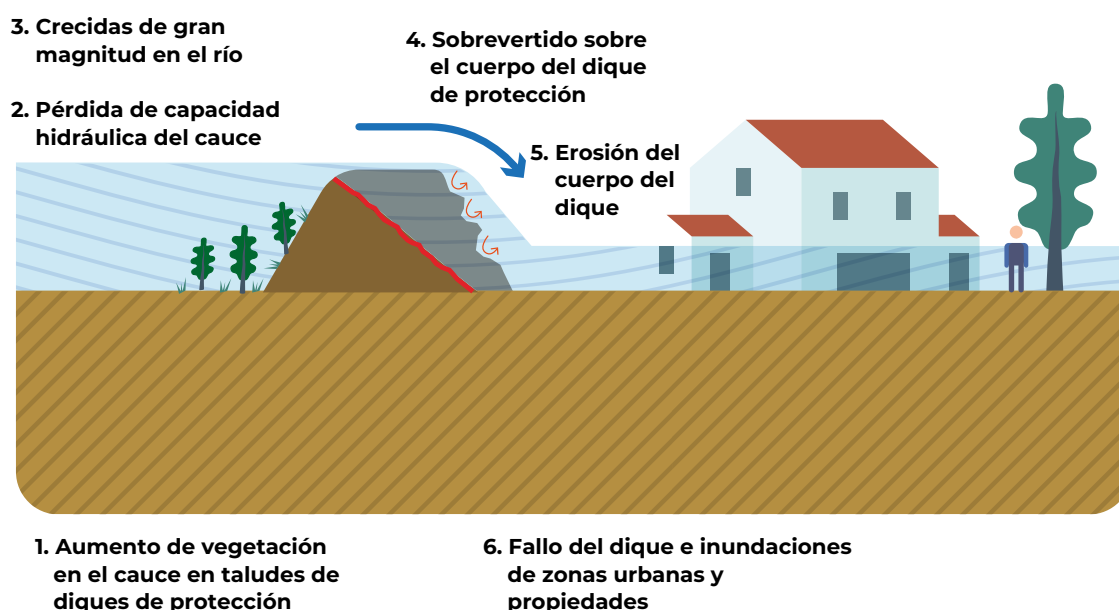


## Factores que influyen en el riesgo

- Disponibilidad de estudios y ensayos geotécnicos.
- Existencia de deforestación en la cuenca, que pueda generar erosión, arrastre de sedimentos, mayores picos de avenida y menores tiempos de concentración.
- Presencia de instrumentación y vigilancia en las cuencas para detectar problemas.
- Labores de mantenimiento y vigilancia de las obras de protección.
- Adecuado diseño estructural del dique.
- Presencia de tráfico rodado por la cresta de los diques y proyecciones.

## AUMENTO DE VEGETACIÓN Y PÉRDIDA DE CAPACIDAD DEL CAUCE/CANAL DE DRENAJE

En las márgenes del río existen diques de protección frente a inundaciones con taludes lo suficientemente tendidos como para que en ellos se desarrolle vegetación. Esta vegetación, sin un adecuado mantenimiento, puede continuar desarrollándose y reducir de forma significativa la capacidad hidráulica del cauce. En escenario hidrológico, se produce una crecida en el río de magnitud suficiente que acaba superando los diques por la menor capacidad hidráulica del cauce. El paso de agua sobre la cresta de los diques produce una erosión de su cuerpo y la apertura de una brecha, causando una inundación de las zonas colindantes con elevadas consecuencias económicas y sociales.

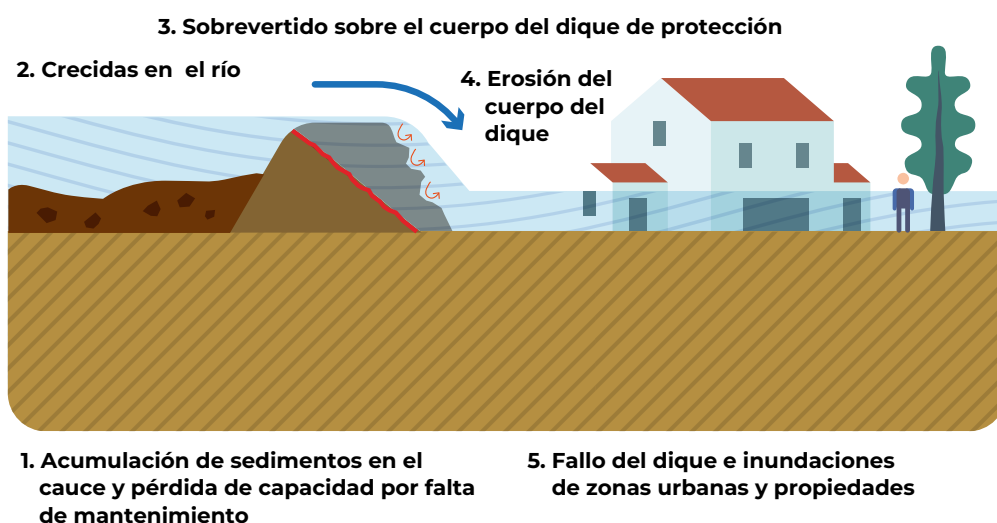


### Factores que influyen en el riesgo

- Disponibilidad de datos de precipitaciones, existencia de redes de estaciones meteorológicas y variabilidad geográfica de la precipitación.
- Influencia del cambio climático en la intensidad de las precipitaciones y el nivel de las crecidas para un determinado periodo de retorno.
- Existencia de deforestación en la cuenca que pueda generar erosión, arrastre de sedimentos, mayores picos de avenida y menores tiempos de concentración.
- Disponibilidad de estudios hidráulicos del funcionamiento del cauce.
- Existencia de protección aguas abajo del dique que evite la erosión del pie.
- Adecuado diseño estructural del dique.
- Disponibilidad de estudios y ensayos geotécnicos del material que conforma el dique.
- Labores de mantenimiento y vigilancia del cauce y sus márgenes.
- Existencia de especies protegidas de vegetación en el cauce, que puede dificultar las labores de mantenimiento y limpieza en el cauce.

## ACUMULACIÓN DE SEDIMENTOS EN EL CAUCE

En el río existen tramos con bajas velocidades del agua, lo que provoca que se vaya disponiendo una gran cantidad de sedimentos en el cauce a lo largo del tiempo que reduce de forma significativa la capacidad hidráulica del cauce. En escenario hidrológico, se produce una crecida en el río de magnitud suficiente que acaba superando los diques por la menor capacidad hidráulica del cauce. El paso de agua sobre la cresta de los diques produce una erosión de su cuerpo y la apertura de una brecha, causando una inundación de las zonas colindantes con elevadas consecuencias económicas y sociales.

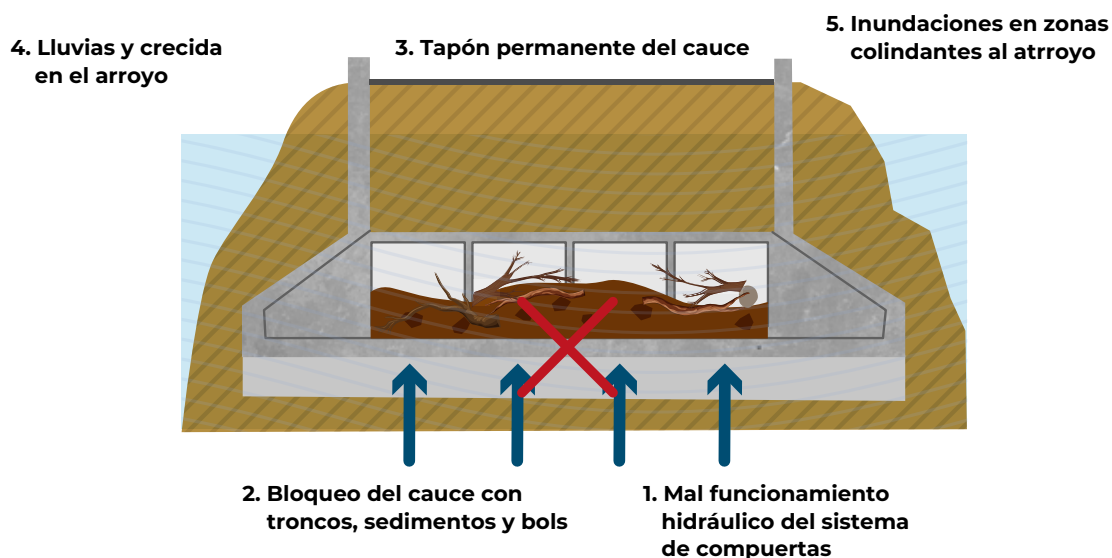


## Factores que influyen en el riesgo

- Disponibilidad de datos de precipitaciones, existencia de redes de estaciones meteorológicas y variabilidad geográfica de la precipitación.
- Influencia del cambio climático en la intensidad de las precipitaciones y el nivel de las crecidas para un determinado periodo de retorno.
- Disponibilidad de estudios y ensayos geotécnicos.
- Disponibilidad de estudios sobre caracterización de los suelos y los potenciales procesos de erosión y sedimentación de las cuencas altas de las zonas urbanas.
- Existencia de deforestación en la cuenca, que pueda generar erosión, arrastre de sedimentos y mayores picos de avenida.
- Presencia de instrumentación y vigilancia en las cuencas para detectar problemas.
- Labores de mantenimiento y vigilancia del cauce y sus márgenes.
- Existencia de protección aguas abajo del dique que evite la erosión del pie.
- Disponibilidad de estudios y ensayos geotécnicos del material que conforma el dique.
- Existencia de sedimentación continuada y progresiva en el cauce.
- Existencia de vegetación.
- Disponibilidad de estudios hidráulicos del funcionamiento del cauce.
- Presencia de reducciones de secciones en los canales de los afluentes y en el cauce debido al desarrollo urbano, llegando incluso a la desaparición del cauce.

## BLOQUEO DE COMPUERTAS EN ARROYOS

El sistema de compuertas y estructura de hormigón para la protección de los arroyos suponen un estrechamiento del cauce que puede llevar a un mal funcionamiento hidráulico en la salida del flujo. Esto puede producir que, a lo largo del tiempo, se vayan depositando sedimentos, bolos de piedra y troncos en la entrada de la estructura de hormigón que pueden llevar al bloqueo del paso del flujo. En escenario hidrológico, se produce una crecida de suficiente magnitud en uno de los arroyos bloqueados y al no poder pasar el agua, se produce el embalsamiento de agua hacia aguas arriba y la ocurrencia de inundaciones en las viviendas y propiedades localizadas junto al arroyo.



### Factores que influyen en el riesgo

- Disponibilidad de datos de precipitaciones, existencia de redes de estaciones meteorológicas y variabilidad geográfica de la precipitación.
- Influencia del cambio climático en la intensidad de las precipitaciones y el nivel de las crecidas para un determinado periodo de retorno.
- Disponibilidad de estudios sobre caracterización de los suelos y los potenciales procesos de erosión y sedimentación de las cuencas altas de las zonas urbanas.
- Existencia de deforestación en la cuenca, que pueda generar erosión, arrastre de sedimentos, mayores picos de avenida y menores tiempos de concentración.
- Presencia de instrumentación y vigilancia en las cuencas para detectar problemas.
- Labores de mantenimiento y vigilancia del cauce y las compuertas.
- Disponibilidad de estudios hidráulicos del funcionamiento del cauce.



## IMPOSIBILIDAD DE CERRAR COMPUERTAS

Los sistemas de compuertas y estructura de hormigón son diseñados para cerrarse cuando se produzcan niveles elevados en el río y así evitar la entrada de agua y proteger las zonas cercanas a los arroyos. En escenario hidrológico, con una crecida en el río y debido a un mal funcionamiento de estas compuertas por problemas de mantenimiento o la presencia de arrastres, las compuertas no pueden cerrarse y el agua del río entra hacia el arroyo, lo que produce importantes daños medioambientales y sociales por inundaciones con agua de mala calidad en esta zona.

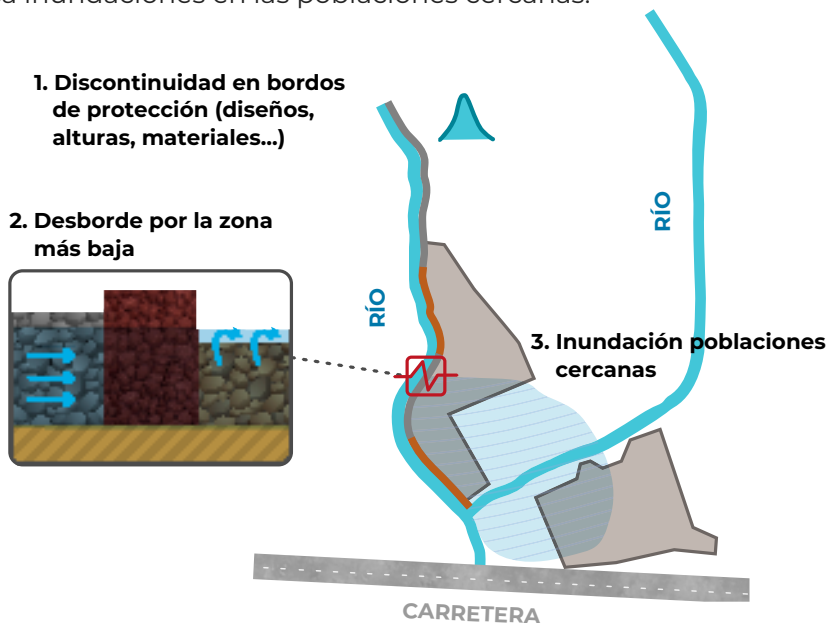


## Factores que influyen en el riesgo

- Disponibilidad de datos de precipitaciones, existencia de redes de estaciones meteorológicas y variabilidad geográfica de la precipitación.
- Influencia del cambio climático en la intensidad de las precipitaciones y el nivel de las crecidas para un determinado periodo de retorno.
- Disponibilidad de estudios sobre caracterización de los suelos y los potenciales procesos de erosión y sedimentación de las cuencas altas de las zonas urbanas.
- Existencia de deforestación en la cuenca que pueda generar erosión, arrastre de sedimentos, mayores picos de avenida y menores tiempos de concentración.
- Presencia de instrumentación y vigilancia en las cuencas para detectar problemas.
- Labores de mantenimiento y vigilancia del cauce y las compuertas.
- Disponibilidad de estudios hidráulicos del funcionamiento del cauce.

## INUNDACIÓN POR DISCONTINUIDADES EN LOS BORDOS

La construcción de los bordos de protección en diferentes fases, con diferentes diseños, con distintos materiales, por constructoras diferentes y/o por comunidades distintas genera zonas de discontinuidades en el sistema de bordos de protección. Dicha falta de continuidad posibilita una debilidad generando ingresos de agua por la zona más baja. La dificultad para evacuar el agua por la llanura de la zona y por la existencia de las bordos provoca inundaciones en las poblaciones cercanas.

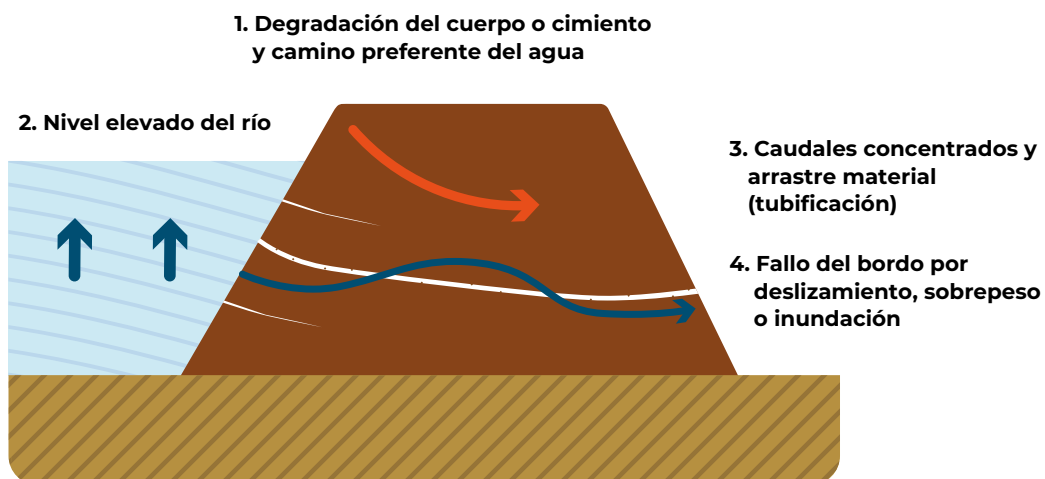


### Factores que influyen en el riesgo

- Disponibilidad de datos de precipitaciones, existencia de redes de estaciones meteorológicas y variabilidad geográfica de la precipitación.
- Influencia del cambio climático en la intensidad de las precipitaciones y el nivel de las crecidas para un determinado periodo de retorno.
- Presencia de instrumentación y vigilancia en las cuencas para detectar problemas.
- Existencia de programas de manejo de cuenca.
- Disponibilidad de planes y programas para coordinar las actuaciones de protección frente a inundaciones entre diferentes municipios y entidades.
- Labores de mantenimiento y vigilancia de las bordos de protección.

## TUBIFICACIÓN, ROTURA DE BORDOS E INUNDACIÓN

Se inicia un proceso de degradación del cuerpo o cimienta del bordo. A lo largo del tiempo, el agua se va filtrando por el material del bordo generando caminos de flujo preferente. Para escenario hidrológico, se producen niveles elevados en el río generando caudales concentrados por esos caminos y provocando erosión y arrastre de material. Finalmente, estos procesos acaban en el fallo del bordo por deslizamiento y una consiguiente inundación en las áreas circundantes.



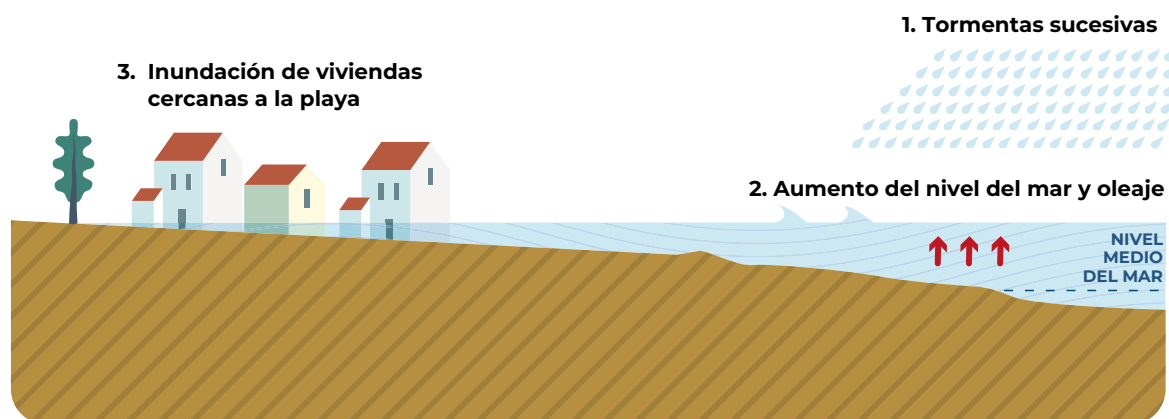
### Factores que influyen en el riesgo

- Disponibilidad de estudios y ensayos geotécnicos.
- Presencia de instrumentación y vigilancia en las cuencas para detectar problemas.
- Existencia de vegetación que pueda facilitar la tubificación.
- Labores de mantenimiento y vigilancia de las bordo3s.
- Adecuado diseño hidráulico del dique.
- Adecuado diseño estructural del dique.
- Disponibilidad de estudios y ensayos geotécnicos del material que conforma el dique.

### 3.3. Modos de Fallo por inundación marítima

#### INUNDACIÓN MARÍTIMA

Debido a sucesivas tormentas, se producen temporales en el mar lo que conlleva un aumento del nivel del mar y oleaje. Finalmente, esta crecida alcanza las viviendas localizadas junto a la playa, provocando su inundación.

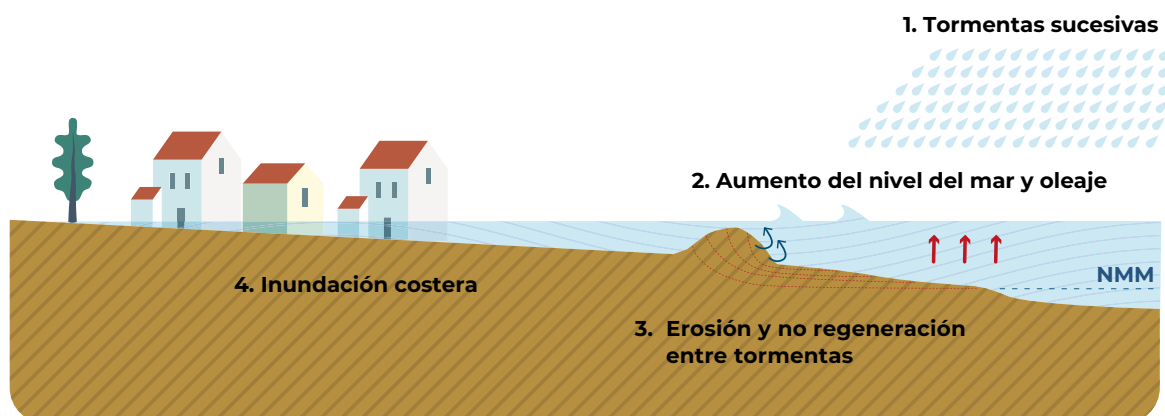


#### Factores que influyen en el riesgo

- Disponibilidad de datos de precipitaciones, existencia de redes de estaciones meteorológicas y variabilidad geográfica de la precipitación.
- Influencia del cambio climático en la subida del nivel del mar y en el oleaje.
- Disponibilidad de estudios sobre caracterización de los suelos y los potenciales procesos de erosión y sedimentación de las playas.
- Disponibilidad de planes de mantenimiento y regeneración de playas.

## FALLO POR EROSIÓN DE PLAYAS Y SUS SISTEMAS DUNARES

Debido a sucesivas tormentas se produce la erosión continua de las playas. Por falta de mantenimiento entre tormentas, esta erosión llega a los sistemas dunares que conforman una protección natural contra inundaciones. La erosión provoca la reducción de la cota de coronación de las dunas y facilita el sobrepaso de la inundación costera. En este escenario se produce la inundación de las viviendas localizadas junto a la playa.

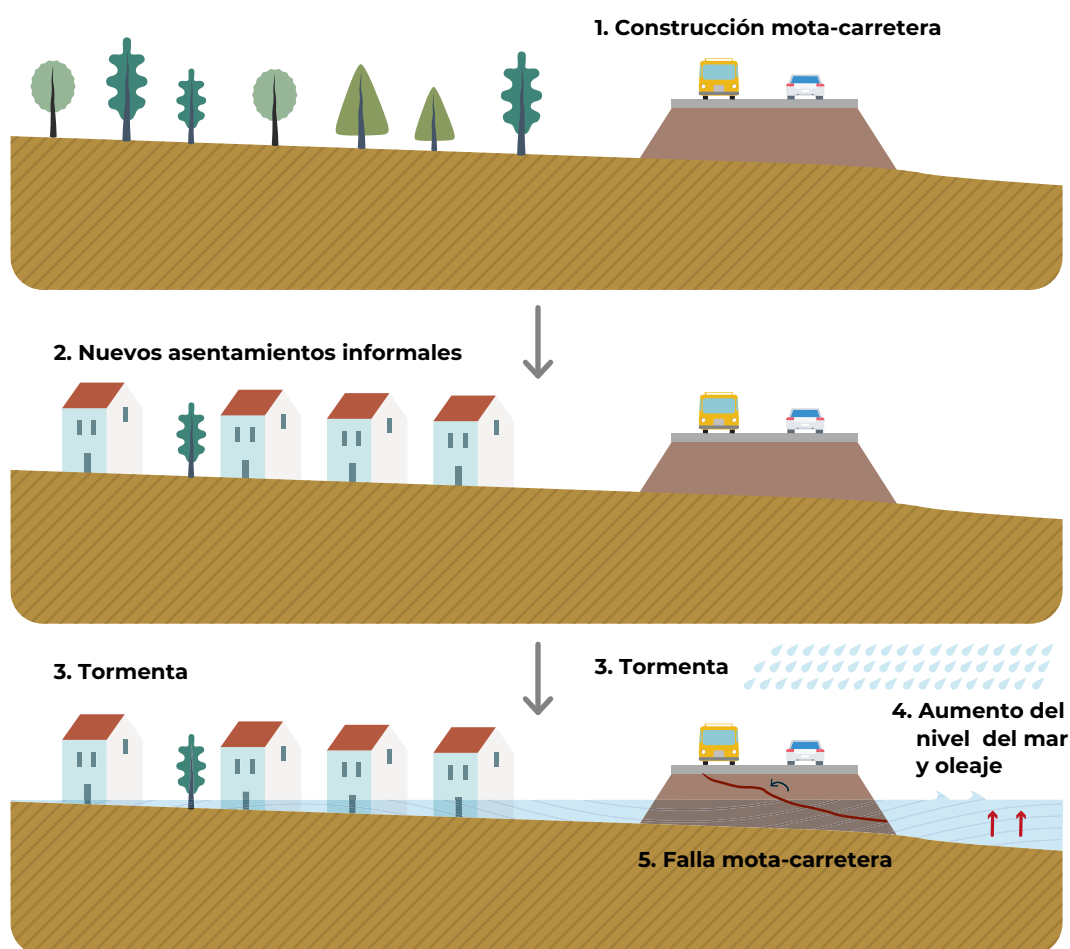


### Factores que influyen en el riesgo

- Disponibilidad de datos de precipitaciones, existencia de redes de estaciones meteorológicas y variabilidad geográfica de la precipitación.
- Influencia del cambio climático en la subida del nivel del mar y en el oleaje.
- Disponibilidad de estudios sobre caracterización de los suelos y los potenciales procesos de erosión y sedimentación de las playas.
- Disponibilidad de planes de mantenimiento y regeneración de playas.

## AUMENTO DE ASENTAMIENTOS INFORMALES EN ZONAS PROTEGIDAS

La construcción de una mota-carretera de protección prevista produce un aumento de la protección frente a inundaciones costeras en el municipio. Por este motivo, debido a la sensación de seguridad que percibe la población, se produce un aumento del desarrollo de asentamientos informales en esta zona. Durante una tormenta la mota-carretera es dañada y el agua penetra a través de ella, provocando inundaciones en las zonas urbanas construidas a su alrededor. Estas inundaciones producen un mayor número de consecuencias respecto a la situación previa a la construcción de la mota-carretera debido al aumento del número de viviendas y personas afectadas.

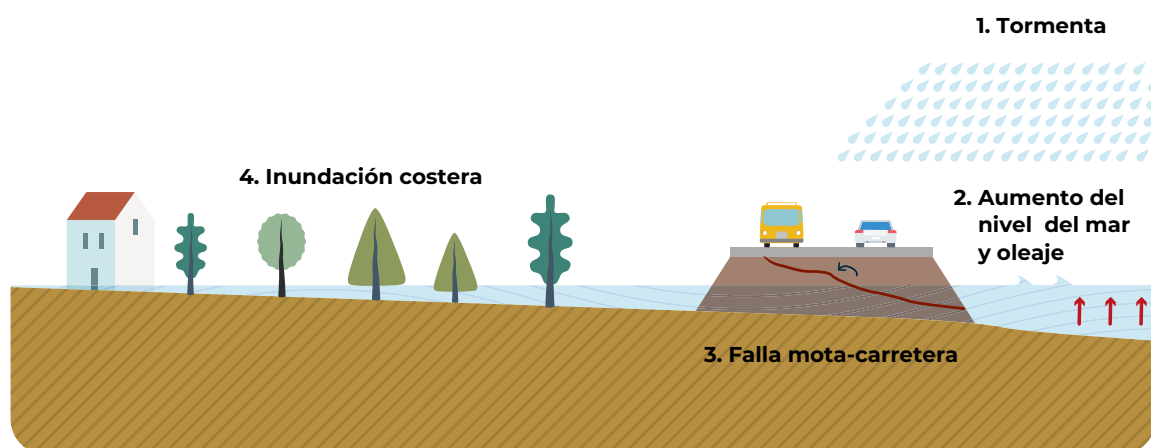


### Factores que influyen en el riesgo

- Disponibilidad de datos de precipitaciones, existencia de redes de estaciones meteorológicas y variabilidad geográfica de la precipitación.
- Influencia del cambio climático en la subida del nivel del mar y en el oleaje.
- Disponibilidad de estudios sobre caracterización de los suelos y los potenciales procesos de erosión y sedimentación.
- Existencia de protección aguas abajo del dique que evite la erosión del pie.
- Disponibilidad de estudios y ensayos geotécnicos del material que conforma el dique.

## FALLO DE LA MOTA A CAUSA DE LA ACCIÓN DEL OLEAJE

Debido a una tormenta, el nivel del mar aumenta haciendo que el oleaje alcance la sección de la mota-carretera. Además, la protección del talud de la estructura se encuentra deteriorada por la falta de mantenimiento, por lo que las olas la erosionan con facilidad. La erosión progresa rápidamente por el núcleo de la sección ocasionando una brecha en la estructura, de forma que el agua penetra a través de ella e inunda las zonas urbanas aledañas.

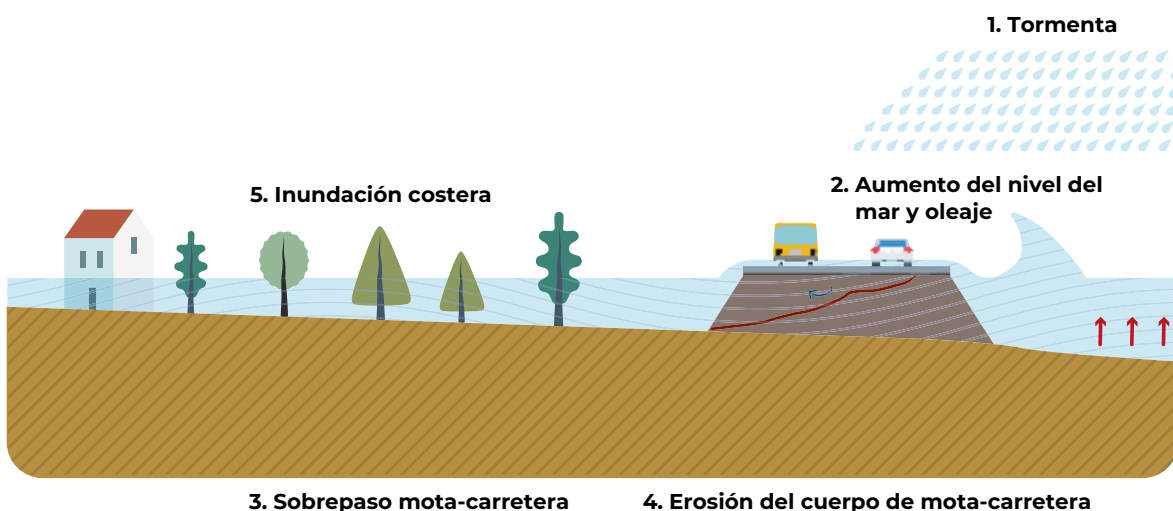


### Factores que influyen en el riesgo

- Disponibilidad de datos de precipitaciones, existencia de redes de estaciones meteorológicas y variabilidad geográfica de la precipitación.
- Influencia del cambio climático en la subida del nivel del mar y en el oleaje.
- Disponibilidad de estudios sobre caracterización de los suelos y los potenciales procesos de erosión y sedimentación.
- Existencia de protección aguas abajo del dique que evite la erosión del pie.
- Disponibilidad de estudios y ensayos geotécnicos del material que conforma el dique.

## FALLO DE LA MOTA POR SOBREPASO

Debido a una tormenta, el nivel del mar aumenta con una magnitud suficiente para que el oleaje acabe superando la sección de la mota-carretera. El paso de agua sobre la cresta de la mota produce una erosión de su cuerpo y la apertura de una brecha por la que pasa el agua, causando una inundación de las zonas colindantes con elevadas consecuencias económicas y sociales.



## Factores que influyen en el riesgo

- Disponibilidad de datos de precipitaciones, existencia de redes de estaciones meteorológicas y variabilidad geográfica de la precipitación.
- Influencia del cambio climático en la subida del nivel del mar y en el oleaje.
- Disponibilidad de estudios sobre caracterización de los suelos y los potenciales procesos de erosión y sedimentación.
- Existencia de protección aguas abajo del dique que evite la erosión del pie.
- Disponibilidad de estudios y ensayos geotécnicos del material que conforma el dique.



### 3.4 Modos de Fallo por sistema de gestión del riesgo

#### INEFICACIA DEL SISTEMA DE AVISOS

En escenario hidrológico, se prevé una precipitación de magnitud suficiente que producirá una crecida en el río y la inundación de alguna de las zonas urbanas a su alrededor. Debido a un error en la toma de datos o la comunicación de las alertas y/o la ineficacia de los procedimientos de protección y evacuación de la población, no se realizan los avisos adecuadamente y la población no abandona las propiedades antes de la inundación, aumentando sus consecuencias sociales.

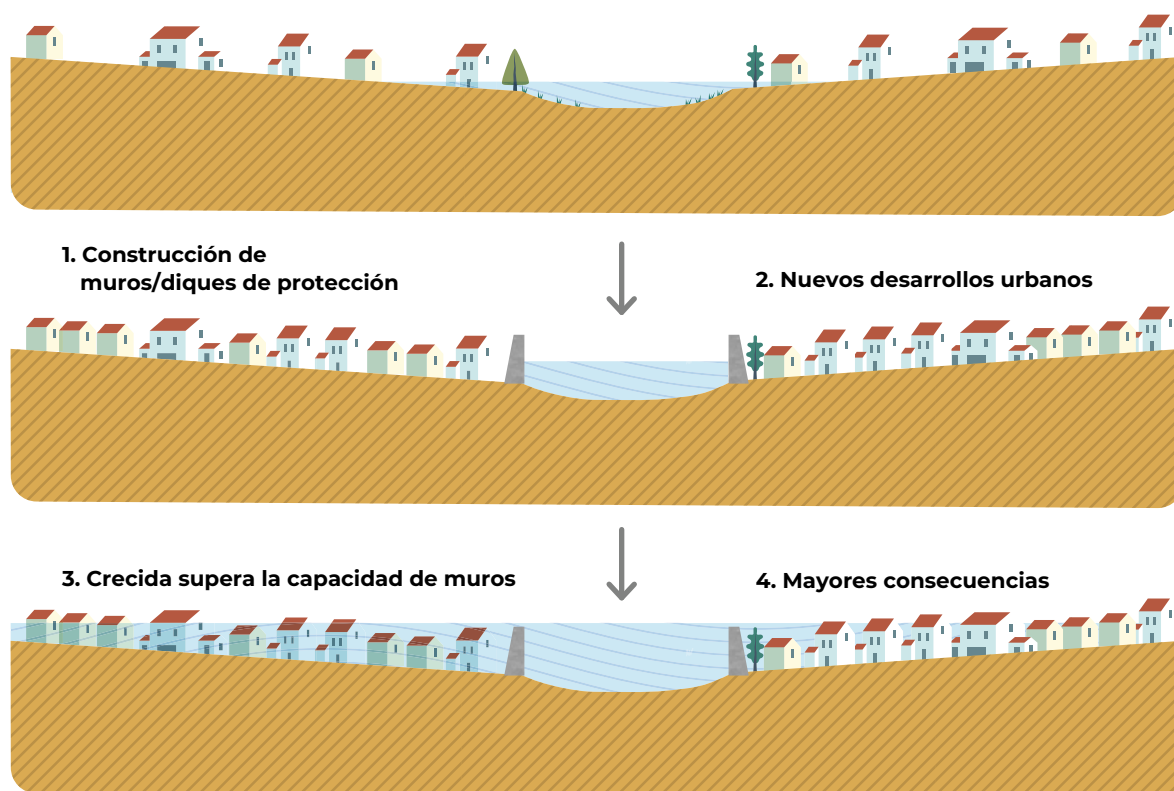


#### Factores que influyen en el riesgo

- Disponibilidad de datos de precipitaciones, existencia de redes de estaciones meteorológicas y variabilidad geográfica de la precipitación.
- Influencia del cambio climático en la intensidad de las precipitaciones y el nivel de las crecidas para un determinado periodo de retorno.
- Manejo y conservación de información de los proyectos a lo largo de los años.
- Presencia de instrumentación y vigilancia en las cuencas para detectar problemas.

## AUMENTO DE DESARROLLOS URBANOS

La construcción de diques de protección produce un aumento de la protección frente a inundaciones en los alrededores del cauce del río. Por este motivo, debido a la sensación de seguridad que percibe la población, se produce un aumento del desarrollo urbano en la zona. En escenario hidrológico, los caudales en el cauce superan la capacidad de diseño de los diques, por lo que se producen inundaciones en las zonas urbanas construidas a su alrededor. Estas inundaciones producen un mayor número de consecuencias respecto a la situación previa a la construcción de los diques debido al aumento del número de viviendas y personas afectadas.



## Factores que influyen en el riesgo

- Disponibilidad de datos de precipitaciones, existencia de redes de estaciones meteorológicas y variabilidad geográfica de la precipitación.
- Influencia del cambio climático en la intensidad de las precipitaciones y el nivel de las crecidas para un determinado periodo de retorno.
- Presencia de instrumentación y vigilancia en las cuencas para detectar problemas.

## CONFLICTOS SOCIALES

Durante la construcción de las obras y debido a la incorrecta socialización de las obras y/o la ocupación de los terrenos colindantes, se producen conflictos sociales que van en aumento, produciendo bloqueos y robos durante la construcción de las obras, impidiendo su normal ejecución, lo que produce un aumento de los costes.

### 2. Bloqueos y robos durante la construcción de las obras

### 1. Conflictos sociales por mala socialización de las obras



## Factores que influyen en el riesgo

- Acompañamiento social en las fases de preinversión, de proyecto y de construcción, de manera que los beneficiarios conozcan el proyecto.
- Manejo y conservación de información de los proyectos a lo largo de los años.

## ASENTAMIENTO HUMANO EN LAS ÁREAS DE SACRIFICIO

La ejecución de áreas inundables puede posibilitar el aumento de la población en las áreas colindantes debido a una falsa sensación de seguridad en la zona al no ser ahora inundada con tanta frecuencia. El desarrollo de asentamientos humanos se podría extender sobre las propias áreas de sacrificio. En escenario hidrológico, una crecida llenaría dichas áreas de sacrificio generando unas consecuencias sociales y económicas superiores a las que había antes de su construcción.

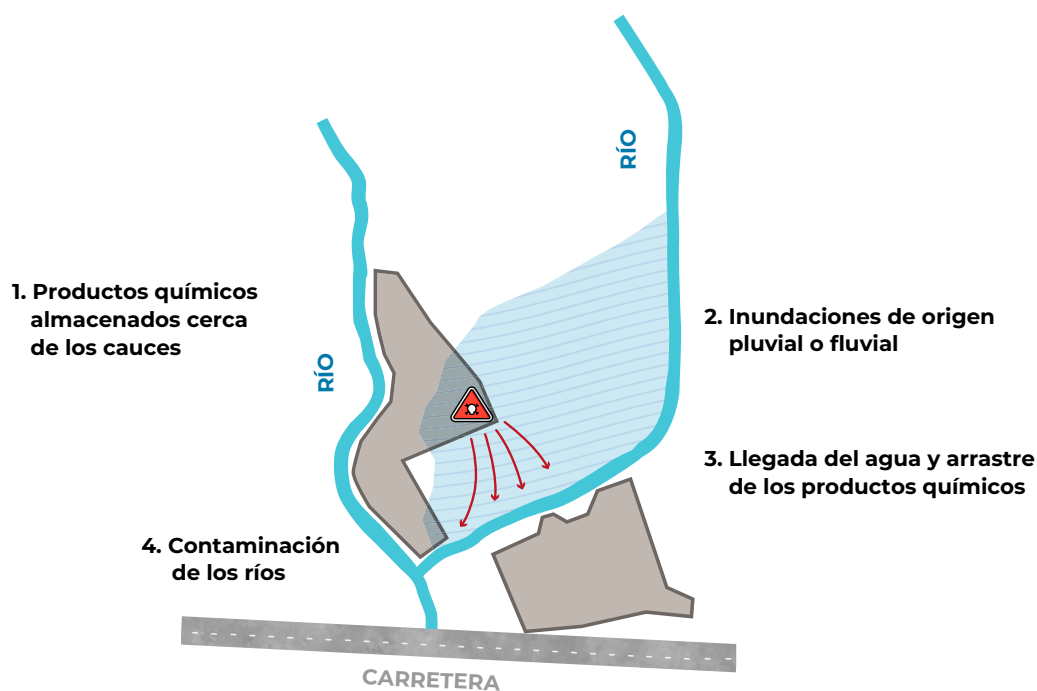


### Factores que influyen en el riesgo

- Disponibilidad de datos de precipitaciones, existencia de redes de estaciones meteorológicas y variabilidad geográfica de la precipitación.
- Influencia del cambio climático en la intensidad de las precipitaciones y el nivel de las crecidas para un determinado periodo de retorno.
- Presencia de instrumentación y vigilancia en las cuencas para detectar problemas.

## DAÑOS MEDIOAMBIENTALES POR VERTIDOS

En zonas cercanas al cauce se dispone de almacenes con productos químicos de tratamiento del agua. Pueden existir fosas sépticas, o cualquier industria que genere residuos que, en escenario hidrológico, un episodio de inundación, de origen pluvial o fluvial, produce el arrastre de los mencionados productos hasta llegar a los ríos cercanos. Esto provoca la contaminación de los ríos generando consecuencias medioambientales.



### Factores que influyen en el riesgo

- Disponibilidad de datos de precipitaciones, existencia de redes de estaciones meteorológicas y variabilidad geográfica de la precipitación.
- Influencia del cambio climático en la intensidad de las precipitaciones y el nivel de las crecidas para un determinado periodo de retorno.
- Presencia de instrumentación y vigilancia en las cuencas para detectar problemas.
- Existencia de programas de manejo de cuenca.
- Existencia de concienciación social respecto a esta problemática.
- Existencia y adecuado dimensionamiento de obras de drenaje para derivar inundaciones y reducir sedimentos.
- Disponibilidad de planes y programas para coordinar las actuaciones de drenaje entre diferentes municipios y entidades.

## INCORRECTA GESTIÓN DE EMBALSE Y DESCARGAS AGUAS ABAJO

Se realiza un pronóstico de precipitaciones de alta intensidad en la cuenca del río. La gestión de los embalses aguas arriba del cauce no es eficiente y se decide no operar las compuertas ante la previsión de poder retener la totalidad del volumen de agua generado. Posteriormente se reconoce la incapacidad del embalse para retener todo el volumen generado por la tormenta y se realizan descargas reactivas de mayor volumen y caudales a las que se habrían realizado de haber operado las compuertas de manera preventiva. Estas descargas provocan inundaciones aguas abajo del embalse afectando a las comunidades.

### 1. Pronóstico de intensas lluvias



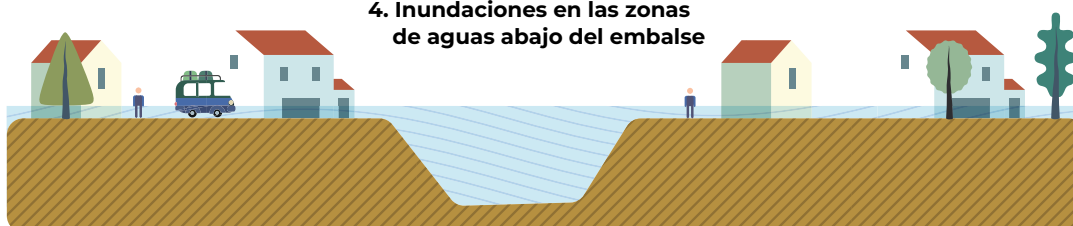
### 2. Gestión no preventiva de embalse, evitando descargas



### 3. Llegada de grandes volúmenes a embalse y descargas reactivas



### 4. Inundaciones en las zonas de aguas abajo del embalse



## Factores que influyen en el riesgo

- Disponibilidad de datos de precipitaciones, existencia de redes de estaciones meteorológicas y variabilidad geográfica de la precipitación.
- Influencia del cambio climático en la intensidad de las precipitaciones y el nivel de las crecidas para un determinado periodo de retorno.
- Existencia de deforestación en la cuenca, que pueda generar erosión, arrastre de sedimentos, mayores picos de avenida y menores tiempos de concentración.
- Presencia de instrumentación y vigilancia en las cuencas para detectar problemas.

## 4. Relación de estudios científico-técnicos

En este apartado se mencionan una serie de estudios científico-técnicos, según la tipología de Modos de Fallo, que deben tenerse en cuenta para reducir el riesgo de ocurrencia de los Modos de Fallo y disminuir la incertidumbre para mejorar el diseño de las infraestructuras.

### MODO DE FALLO POR INUNDACIÓN PLUVIAL Y FLUVIAL

- Existencia de datos meteorológicos.
- Existencia de información sobre inundaciones históricas.
- Datos de eventos extremos por cambio climático.
- Estudio hidrológico de la cuenca de influencia.
- Estudio estructural de la obra de protección.
- Estudio geológico y geotécnico de la zona y características de la cimentación.
- Actividades en la cuenca que puedan tener influencia sobre la obra de protección.
- Plan de gestión de la cuenca.
- Plan de acción durante emergencias.
- Inventario de infraestructuras de protección existentes y localización.

### MODO DE FALLO POR INUNDACIÓN MARÍTIMA

- Existencia de datos meteorológicos.
- Datos de eventos extremos por cambio climático.
- Estudio estructural de la obra de protección.
- Estudio geológico y geotécnico de la cimentación.
- Plan de acción durante emergencias.

### **MODO DE FALLO POR SISTEMA DE GESTIÓN DEL RIESGO**

- Planes de ordenación urbana de los municipios afectados por la construcción de las obras de protección frente a inundaciones.
- Planes de operación y mantenimiento de la obra de protección.
- Protocolos de alerta a la población en caso de inundación.
- Programas de acción frente emergencias.
- Localización de las poblaciones expuestas y principales infraestructuras críticas.
- Estudios de impacto ambiental.



## 5. Recomendaciones y mejores prácticas

A continuación, se recopilan una serie de recomendaciones y mejores prácticas de intervención según las tipologías de Modos de Fallo.

### Modo de Fallo POR INUNDACIÓN PLUVIAL

Para disminuir el riesgo de los Modos de Fallo de tipología inundación pluvial se tendrá en cuenta:

- Realizar una modelación hidráulica de la totalidad de la red de drenaje para conocer su funcionamiento hidráulico y evaluar su vulnerabilidad frente a distintas situaciones. Para ello se analizarán las inundaciones producidas por tormentas de diferentes períodos de recurrencia. Esta modelización permitirá localizar los puntos vulnerables o deficientes de la red y aplicar mejoras en el sistema.
- Se determinarán los hidrogramas de las previsibles avenidas afluentes del cauce, junto con la caracterización estadística de sus probabilidades de ocurrencia. Se analizarán, asimismo, y se tendrán en cuenta, las avenidas históricas. Se considerará el conocimiento disponible sobre los posibles cambios a largo plazo en las condiciones hidrológicas de la cuenca y las posibles repercusiones del cambio climático. Se justificará el grado de fiabilidad de las metodologías utilizadas en el proyecto para la determinación de las diferentes avenidas y su adecuación a las características de la cuenca.
- En caso de que haya falta de datos de precipitaciones en el país por escasez de red de estaciones meteorológicas y alta variabilidad geográfica de la precipitación, se realizarán los análisis y ajustes pertinentes de las series históricas.
- En el caso de que la red de aforo de caudales sea muy poco densa, se podrá estudiar la posibilidad de instalar estaciones adicionales de aforo para el proyecto.
- Se considerará la incertidumbre en los datos de precipitaciones existentes por problemas en el registro de datos y el mantenimiento de la red.
- Realizar visitas técnicas al emplazamiento donde se ubica la obra de protección para detectar posibles aspectos que no se hayan tenido en cuenta durante el diseño o averiguar los motivos del mal funcionamiento de la infraestructura.
- Elaborar un Manual de operación y mantenimiento de la infraestructura, con el fin de disponer de los procedimientos y el personal necesario para la realización de la operación y el mantenimiento. Se recomienda que el manual incluya: tareas a realizar (inspecciones, mediciones, mantenimiento de auscultación, revisiones de seguridad, etc.), los responsables de realizar cada tarea, la periodicidad de cada una y el departamento/administración local de la que dependen.
- Realizar un Plan de manejo integral de la cuenca de manera que se realice una gestión y operación de la obra de protección teniendo en cuenta todos los factores implícitos en la cuenca. Por ello, se recomienda que el plan incorpore un estudio detallado de los sedimentos que llegarán al cauce desde cualquier punto de la cuenca. Además, la gestión integral de la cuenca debe ir acompañada de otras acciones que reduzcan el aporte de sedimentos al cauce, como la reforestación, la protección de la cuenca y la construcción de obras de retención de sedimentos.

- Deberán analizarse las características topográficas, geológicas, hidrogeológicas y geotécnicas del terreno donde se vayan a construir las obras de protección frente a inundaciones. El alcance de las investigaciones y estudios a realizar será tal que permita caracterizar los terrenos afectados por las obras de protección y obtener los parámetros de cálculo necesarios para determinar la resistencia, deformabilidad, permeabilidad y estabilidad físico-química del terreno.
- Los parámetros resistentes a emplear en los cálculos se justificarán con un número suficiente de ensayos, además de con otros métodos indirectos que redunden en una mayor robustez de la estimación.
- El proyecto deberá definir los materiales a emplear, determinar su procedencia, localización geográfica y los volúmenes disponibles, establecer las características que deben cumplir y concretar los procedimientos para su comprobación y control. Los materiales deberán ensayarse y las unidades de obra se ejecutarán conforme a las especificaciones del proyecto.
- En los diques cuya tipología sea de materiales sueltos se cuidará el diseño de filtros y drenes para evitar la aparición de fenómenos de erosión interna y se estudiarán de forma especial en ellas los contactos con tuberías que puedan atravesarlas y los cimientos que puedan ser susceptibles de ser erosionados.
- Se tendrán en cuenta las acciones sísmicas sobre la obra de protección, de conformidad con la actividad sísmica de la región en la que se ubica.
- La obra de protección y sus márgenes deberán disponer de equipos de auscultación adecuados para poder analizar su comportamiento de forma periódica y detectar las anomalías que pudieran afectar a su seguridad.
- Proteger los equipos de monitorización con herramientas para la detección y prevención del vandalismo.

## Modo de Fallo POR INUNDACIÓN FLUVIAL

Para disminuir el riesgo de los Modos de Fallo de tipología inundación fluvial se tendrá en cuenta:

- Se determinarán los hidrogramas de las previsibles avenidas afluentes del cauce, junto con la caracterización estadística de sus probabilidades de ocurrencia. Se analizarán, asimismo, y se tendrán en cuenta, las avenidas históricas. Se considerará el conocimiento disponible sobre los posibles cambios a largo plazo en las condiciones hidrológicas de la cuenca y las posibles repercusiones del cambio climático. Se justificará el grado de fiabilidad de las metodologías utilizadas en el proyecto para la determinación de las diferentes avenidas y su adecuación a las características de la cuenca.
- Los elementos de control de los canales de drenaje deberán estar proyectados de tal forma que se asegure su funcionamiento en cualquier situación y, en particular, en situaciones de avenida. Deberán disponer de dispositivos de accionamiento redundantes, estar alimentados por fuentes de energía independiente y tener accesos garantizados y controlados.
- En caso de que haya falta de datos de precipitaciones en el país por escasez de red de estaciones meteorológicas y alta variabilidad geográfica de la precipitación, se realizarán los análisis y ajustes pertinentes de las series históricas.
- En el caso de que la red de aforo de caudales sea muy poco densa, se podrá estudiar la posibilidad de instalar estaciones adicionales de aforo para el proyecto.
- Se considerará la incertidumbre en los datos de precipitaciones existentes por problemas en el registro de datos y el mantenimiento de la red.
- Realizar un proyecto de estudio de trazado de posibles obras de drenaje, que abarque desde el diseño hasta su construcción final, características geométricas, capacidad de diseño y traslado del material a evacuar.
- Realizar visitas técnicas al emplazamiento donde se ubica la obra de protección para detectar posibles aspectos que no se hayan tenido en cuenta durante el diseño o averiguar los motivos del mal funcionamiento de la infraestructura.
- Elaborar un Manual de operación y mantenimiento de la infraestructura, con el fin de disponer de los procedimientos y el personal necesario para la realización de la operación y el mantenimiento. Se recomienda que el manual incluya: tareas a realizar (inspecciones, mediciones, mantenimiento de auscultación, revisiones de seguridad, etc.), los responsables de realizar cada tarea, la periodicidad de cada una y el departamento/administración local de la que dependen.
- Realizar un Plan de manejo integral de la cuenca de manera que se realice una gestión y operación de la obra de protección teniendo en cuenta todos los factores implícitos en la cuenca. Por ello, se recomienda que el plan incorpore un estudio detallado de los sedimentos que llegarán al cauce desde cualquier punto de la cuenca. Además, la gestión integral de la cuenca debe ir acompañada de otras acciones que reduzcan el aporte de sedimentos al cauce, como la reforestación, la protección de la cuenca y la construcción de obras de retención de sedimentos.

- Deberán analizarse las características topográficas, geológicas, hidrogeológicas y geotécnicas del terreno donde se vayan a construir las obras de protección frente a inundaciones. El alcance de las investigaciones y estudios a realizar será tal que permita caracterizar los terrenos afectados por las obras de protección, y obtener los parámetros de cálculo necesarios para determinar la resistencia, deformabilidad, permeabilidad y estabilidad físico-química del terreno.
- Los parámetros resistentes a emplear en los cálculos se justificarán con un número suficiente de ensayos, además de con otros métodos indirectos que redunden en una mayor robustez de la estimación.
- El proyecto deberá definir los materiales a emplear, determinar su procedencia, localización geográfica y los volúmenes disponibles, establecer las características que deben cumplir y concretar los procedimientos para su comprobación y control. Los materiales deberán ensayarse y las unidades de obra se ejecutarán conforme a las especificaciones del proyecto.
- En los diques cuya tipología sea de materiales sueltos se cuidará el diseño de filtros y drenes para evitar la aparición de fenómenos de erosión interna y se estudiarán de forma especial en ellas los contactos con tuberías que puedan atravesarlas y los cimientos que puedan ser susceptibles de ser erosionados.
- Se tendrán en cuenta las acciones sísmicas sobre la obra de protección, de conformidad con la actividad sísmica de la región en la que se ubica.
- La obra de protección y sus márgenes deberán disponer de equipos de auscultación adecuados para poder analizar su comportamiento de forma periódica y detectar las anomalías que pudieran afectar a su seguridad.
- Proteger los equipos de monitorización con herramientas para la detección y prevención del vandalismo frente a estos elementos.

## Modo de Fallo POR INUNDACIÓN MARÍTIMA

Para disminuir el riesgo de los Modos de Fallo de tipología inundación marítima se tendrá en cuenta:

- Se considerará el conocimiento disponible sobre los posibles cambios a largo plazo en las condiciones hidrológicas y las posibles repercusiones del cambio climático. Se justificará el grado de fiabilidad de las metodologías utilizadas en el proyecto.
- En caso de que haya falta de datos de precipitaciones y mareas por escasez de red de estaciones meteorológicas y alta variabilidad geográfica de la precipitación, se realizarán los análisis y ajustes pertinentes de las series históricas.
- Realizar estudios de mareas, nivel del mar y probabilidades para diseñar y dimensionar adecuadamente las obras de protección frente a inundaciones.
- Realizar visitas técnicas al emplazamiento donde se ubica la obra de protección para detectar posibles aspectos que no se hayan tenido en cuenta durante el diseño o averiguar los motivos del mal funcionamiento de la infraestructura.
- Elaborar un Manual de operación y mantenimiento de la infraestructura, con el fin de disponer de los procedimientos y el personal necesario para la realización de la operación y el mantenimiento. Se recomienda que el manual incluya: tareas a realizar (inspecciones, mediciones, mantenimiento de auscultación, revisiones de seguridad, etc.), los responsables de realizar cada tarea, la periodicidad de cada una y el departamento/administración local de la que dependen.
- Deberán analizarse las características topográficas, geológicas, hidrogeológicas y geotécnicas del terreno donde se vayan a construir las obras de protección frente a inundaciones. El alcance de las investigaciones y estudios a realizar será tal que permita caracterizar los terrenos afectados por las obras de protección, y obtener los parámetros de cálculo necesarios para determinar la resistencia, deformabilidad, permeabilidad y estabilidad físico-química del terreno.
- Los parámetros resistentes a emplear en los cálculos se justificarán con un número suficiente de ensayos, además de con otros métodos indirectos que redunden en una mayor robustez de la estimación.
- El proyecto deberá definir los materiales a emplear, determinar su procedencia, localización geográfica y los volúmenes disponibles, establecer las características que deben cumplir y concretar los procedimientos para su comprobación y control. Los materiales deberán ensayarse y las unidades de obra se ejecutarán conforme a las especificaciones del proyecto.
- Se tendrán en cuenta las acciones sísmicas sobre la obra de protección, de conformidad con la actividad sísmica de la región en la que se ubica.
- La obra de protección deberá disponer de equipos de auscultación adecuados para poder analizar su comportamiento de forma periódica y detectar las anomalías que pudieran afectar a su seguridad.
- Proteger los equipos de monitorización con herramientas para la detección y prevención del vandalismo frente a estos elementos.

### Modo de Fallo POR SISTEMAS DE GESTIÓN DEL RIESGO

- Para disminuir el riesgo de los Modos de Fallo por sistema de gestión del riesgo se tendrá en cuenta:
- Cuando se trate de problemas sociales, se tendrá en cuenta la opinión de la población y se realizarán reuniones para tratar de llegar a acuerdos.
- Se realizarán reuniones de concienciación para la población ante el riesgo de inundación.
- Se realizarán reuniones de capacitación sobre el riesgo de inundación.
- Se diseñarán planes de evacuación de la población en caso de que las obras de protección frente a inundaciones fallen y se coordinarán con los servicios de emergencia.
- En el caso de afecciones al medio ambiente, se implantarán las medidas necesarias para preservar el medio ambiente.

## Referencias

Banco Interamericano de Desarrollo. *Resumen ejecutivo de la metodología de evaluación del riesgo de desastres y cambio climático del BID*. 2018.

Banco Interamericano de Desarrollo. *Metodología de evaluación del riesgo de desastres y cambio climático para proyectos del BID*. 2019.

International Standardization Organization (ISO). *Risk Management – Principles and Guidelines*. ISO 31000. 2009.

International Electrotechnical Commission. *Analysis Techniques for System Reliability – Procedure for Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)*. International Standard. 2006.

Mecca, S., y Masera, M. *Technical Risk Analysis in Construction by Means of FMEA Methodology*. 1999.

Kim, J. H., H. Y. Jeong, y J. S. Park. *Development of the FMECA Process and Analysis Methodology for Railroad Systems*. 2009.

Aguilar Otero, J., Torres Arcique, R., y Magaña Jiménez, D. *Análisis de modos de fallo, efectos y criticidad (FMECA) para la planeación del mantenimiento empleando criterios de riesgo y confiabilidad*. 2010.

Zeng, S. X., Tam, C. M., y Tam, V. W. Y. *Integrating Safety, Environmental and Quality Risks for Project Management using a FMEA Method*. 2010.

Carlson, C. S. *Effective FMEAs. Achieving Safe, Reliable, and Economical Products and Processes Using Failure Mode and Effects Analysis*. 2012.

SPANCOLD. *Guías Técnicas de Seguridad de Presas. Guía Técnica N° 8 de Explotación de Presas y Embalses. Análisis de Riesgos aplicado a la Gestión de Seguridad de Presas y Embalses*. 2012.

Hwang, H., Lansey, K., y Quintanar, D. R. *Resilience-based Failure Mode Effects and Criticality Analysis for Regional Water Supply System*. 2015.

Rasoul, Y. y Hanewinkel, M. *Climate Change and Decision-Making Under Uncertainty*. 2016.

Marchau, Vincent A.W.J., Warren E. Walker, Pieter J.T.M. Bloemen, y Steven W. Popper. *Decision Making Under Deep Uncertainty. From Theory to Practice*. 2019.

Ministerio de Medio Ambiente y Agua (Bolivia). *Medidas de protección y mitigación para reducir riesgos para eventos de inundación y crecidas en áreas agrícolas y urbanas en cuencas Alta y Baja*. 2021.

