

Metodología de evaluación del riesgo de desastres y cambio climático para proyectos del BID

Documento técnico de referencia para
equipos a cargo de proyectos del BID

Melissa Barandiarán
Maricarmen Esquivel
Sergio Lacambra
Ginés Suárez
Daniela Zuloaga

División de Cambio Climático
Unidad de Salvaguardias
Ambientales y Sociales
División de Medio Ambiente,
Desarrollo Rural y Administración
de Riesgos por Desastres

NOTA TÉCNICA N°
IDB-TN-01771

Metodología de evaluación del riesgo de desastres y cambio climático para proyectos del BID

Documento técnico de referencia para equipos a cargo de proyectos del BID

Melissa Barandiarán
Maricarmen Esquivel
Sergio Lacambra
Ginés Suárez
Daniela Zuloaga

Banco Interamericano de Desarrollo
División de Cambio Climático
Unidad de Salvaguardias Ambientales y Sociales
División de Medio Ambiente, Desarrollo Rural y Administración de Riesgos por Desastres

Diciembre 2019

**Catalogación en la fuente proporcionada por la
Biblioteca Felipe Herrera del
Banco Interamericano de Desarrollo**

Metodología de evaluación del riesgo de desastres y cambio climático para proyectos del BID:
documento técnico de referencia para equipos a cargo de proyectos del BID / Melissa Barandiarán,
Maricarmen Esquivel, Sergio Lacambra, Ginés Suárez, Daniela Zuloaga.
p. cm. — (Nota técnica del BID ; 1771)

Incluye referencias bibliográficas.

1. Natural disasters-Risk assessment. 2. Climatic changes-Risk assessment. I. Barandiarán, Melissa.
II. Esquivel, Maricarmen. III. Lacambra, Sergio. IV. Suárez, Ginés. V. Zuloaga, Daniela. VI. Banco
Interamericano de Desarrollo. División de Medio Ambiente, Desarrollo Rural y Administración de
Riesgos por Desastres. VII. Banco Interamericano de Desarrollo. División de Cambio Climático. VIII.
Banco Interamericano de Desarrollo. Unidad de Salvaguardias Ambientales y Sociales. IX. Serie.
IDB-TN-1771

Códigos JEL: Q54, Q56, O18, H55

Palabras clave: cambio climático, desastres naturales, riesgo de desastres, adaptación al cambio
climático

<http://www.iadb.org>

Copyright © 2019 Banco Interamericano de Desarrollo. Esta obra se encuentra sujeta a una licencia Creative
Commons IGO 3.0 Reconocimiento-NoComercial-SinObrasDerivadas (CC-IGO 3.0 BY-NC-ND)
(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/igo/legalcode>) y puede ser reproducida para cualquier uso no-
comercial otorgando el reconocimiento respectivo al BID. No se permiten obras derivadas.

Cualquier disputa relacionada con el uso de las obras del BID que no pueda resolverse amistosamente se someterá
a arbitraje de conformidad con las reglas de la CNUDMI (UNCITRAL). El uso del nombre del BID para cualquier fin
distinto al reconocimiento respectivo y el uso del logotipo del BID, no están autorizados por esta licencia CC-IGO y
requieren de un acuerdo de licencia adicional.

Note que el enlace URL incluye términos y condiciones adicionales de esta licencia.

Las opiniones expresadas en esta publicación son de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del
Banco Interamericano de Desarrollo, de su Directorio Ejecutivo ni de los países que representa.





Metodología de evaluación del riesgo

de desastres y cambio
climático para proyectos
del BID

Documento técnico de referencia para
equipos a cargo de proyectos del BID

Melissa Barandiarán, Maricarmen Esquivel, Sergio Lacambra,
Ginés Suárez, Daniela Zuloaga



Copyright © 2019 Banco Interamericano de Desarrollo. Esta obra se encuentra sujeta a una licencia Creative Commons IGO 3.0 Reconocimiento-NoComercial-SinObrasDerivadas (CC-IGO 3.0 BY-NC-ND) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/igo/legalcode>) y puede ser reproducida para cualquier uso no comercial otorgando el reconocimiento respectivo al BID. No se permiten obras derivadas.

Cualquier disputa relacionada con el uso de las obras del BID que no pueda resolverse amistosamente se someterá a arbitraje de conformidad con las reglas de la CNUDMI (UNCITRAL). El uso del nombre del BID para cualquier fin distinto al reconocimiento respectivo y el uso del logotipo del BID, no están autorizados por esta licencia CC-IGO y requieren de un acuerdo de licencia adicional.

Note que el enlace URL incluye términos y condiciones adicionales de esta licencia.

Las opiniones expresadas en esta publicación son de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del Banco Interamericano de Desarrollo, de su Directorio Ejecutivo ni de los países que representa.



Inter-American Development Bank

1300 New York Avenue, N.W.

Washington, D.C. 20577

www.iadb.org

Agradecimientos

Este documento fue realizado con importantes aportes de Alfred Grunwaldt, Roberto Guerrero Comeán, Ivonne Jaimes, Hori Tsuneki y Khafi Weekes. El equipo recibió comentarios, orientación y apoyo de Catalina Aguiar, Milagros Aime, Juliana Almeida, María Fernanda Alva, Amal-Lee Amin, Emmanuel Boulet, Stephanie Brackmann, Cristina Calderón, Wilhem Dalaison, Julian Dorr Alexander, Guy Edwards, Joaquín Espinoza, Janine Ferreti, Sohany Flores, Andrea García Salinas, Annette Killmer, Sandra López, Pedro Martel, María Cecilia Ramírez, Daniella Restrepo, Serge Troch, Graham Watkins y Anna Willingshofer. Expresamos nuestro agradecimiento a todos los colegas de la Gerencia, administrativos y de conocimiento que han apoyado el proceso.

Los insumos recibidos de parte de equipos de proyecto han sido invaluable a lo largo del proceso. Expresamos nuestro agradecimiento a todos los colegas que han contribuido su conocimiento y tiempo en los diversos talleres de trabajo y evaluaciones de riesgo realizadas, incluyendo además de los ya mencionados a Arturo Alarcón, Jean Pol Armijos, Tatiana Arriarán, David Baringo, Julia Bocco, Luz Caballero, Mónica Castro Delgadillo, Yuri Chakalall, Steven Collins, Sergio Deambrosi, José Luis de la Bastida, María Eugenia De la Peña, Michael De Landsheer, Paolo De Salvo, Raphael Dewez, Michael Donovan, Marcelo Facchina, Jaime Fernández-Baca, Giovanni Frisari, Andrea Gaviano, Pablo Guerrero, Iciar Hidalgo, Zachary Hurwitz, Roberto Leal, Benoit Lefevre, Joseph Milewski, Livia Minoja, Luis Miranda, Raúl Molina, Carlos Mojica, Ernesto Monter Flores, Raúl Muñoz Castillo, Jesús Navarrete, Tania Páez Rubio, Juan Roberto Paredes, Manuel Rodríguez, Julio Andrés Rojas Lara, María Alejandra Peroni, Juan Alfredo Rihm Silva, Emilio Sawada, Soraya Senosier, Marcia Silvia Casseb, Mariana Silva, Alejandro Taddia, Hideharu Tanaka, Daniel Taras, Daniel Torres Gracia, Natasha Ward, David Wilk y Patricio Zambrano-Barragan. Agradecemos

a Laura Aguilera, Diego Arcia, Sergio Ardila, Ignacio Astorga, Rosario Bambaren, Jadille Baza, Soledad Bos, Luis Buscarons, Renato Calcagno, Ophelie Chevalier, Mario R. Durán-Ortiz, Luis Manuel Espinoza, Esperanza González, Grace Guinand, Julia Miguez Morais, Carolina Piedrafita, Patricia Torres y Silvia Vera por el trabajo continuo realizado que hará posible la inclusión de aspectos específicos a los subsectores de educación, salud y mejoramiento urbano dentro del Paso 2 de la Metodología para 2020.

Expresamos nuestro agradecimiento al equipo de Tetra Tech, Inc. liderado por Hope Herron, con el apoyo de Bill Bohn (Sobis, Inc.) y Peter Cada, por su trabajo en este documento, incluida la elaboración del Paso 1; a Ignacio Escuder y el equipo de iPresas Risk por su orientación y aportes durante todo el proceso de desarrollo de la Metodología, incluida la conceptualización de los 5 Pasos, la formulación de las tablas de criticidad e insumos específicos relacionados con el subsector hidroeléctrico y con los Pasos 4 y 5; a David Yates y Caspar Ammann de NCAR por sus aportes sobre cambio climático; a Eduardo Zegarra de Grade por sus aportes sobre viabilidad económica, y a todos los que han trabajado en las evaluaciones de riesgo realizadas, especialmente las contrapartes técnicas en los países de la región. Expresamos también nuestro agradecimiento a Hilary Hoagland-Grey y Paul Suding por todo su trabajo sobre este tema mientras estuvieron en el BID. Agradecemos a Florencia Servente por la traducción y a Alejandro Scaff por el diseño gráfico.

Finalmente expresamos nuestro agradecimiento al Fondo del Programa Especial del BID de Energía Sostenible y Cambio Climático por financiar este proyecto a través de la cooperación técnica RG-T2644, Fortaleciendo las Evaluaciones de Riesgo al Cambio Climático en las Operaciones.

CONTENIDO

1. Organización de la Metodología	1
1.1. Amenazas naturales	2
1.2. Tipos de proyecto	3
1.3. Información presentada en el informe	4
2. Introducción.....	5
2.1. Antecedentes y contexto	7
2.2. Objetivo y audiencia	9
2.2.1 Audiencia	10
2.2.2 Ámbito de aplicación.....	10
2.3. Breve reseña sobre riesgo de desastres y cambio climático.....	10
2.3.1 ¿Qué es una Evaluación del riesgo de desastres a nivel de proyecto?	13
2.4. Diagnóstico sobre la práctica actual	13
3. Marco conceptual de la Metodología de Evaluación del Riesgo de Desastres y Cambio Climático	16
3.1. Estructura de la Metodología.....	17
3.1.1 Fase 1: Screening y clasificación	19
3.1.2 Fase 2: Evaluación cualitativa del riesgo de desastres y cambio climático.....	21
3.1.3 Fase 3: Evaluación cuantitativa del riesgo de desastres y cambio climático	23
3.2. Uso de la Metodología.....	24
4. Fase I - Screening y clasificación	26
4.1. Paso 1 - Clasificación preliminar según la ubicación y las amenazas.....	28
4.1.1 Resumen	29
4.1.2 Proceso de screening y clasificación.....	29
4.1.3 Resultados.....	32
4.2. Paso 2 - Revisión de la clasificación con base en la criticidad y vulnerabilidad.....	33
4.2.1 Resumen	34
4.2.2 Criterios generales sobre criticidad y vulnerabilidad.....	34
4.2.3 Criterios de criticidad para sectores seleccionados.....	38

4.2.4 Resultados de la Fase I	53
4.2.5 Ejemplo: Evaluación de la criticidad y vulnerabilidad del proyecto	53
5. Fase II - Evaluación cualitativa	54
5.1. Paso 3 - Evaluación cualitativa simplificada del riesgo (narrativa del riesgo) y plan de gestión del riesgo	56
5.1.1 Resumen.....	57
5.1.2 Elaboración de la narrativa del riesgo.....	57
5.1.3 Análisis de la narrativa del riesgo y desarrollo de un Plan de gestión de riesgo de desastres (PGRD).....	63
5.1.4 Resultados.....	70
5.1.5 Ejemplo 1: Narrativa del riesgo de una infraestructura vial....	70
5.1.6 Ejemplo 2: Narrativa del riesgo para infraestructura de drenaje y de suministro de agua y saneamiento	71
5.2. Paso 4 - Evaluación cualitativa completa del riesgo y plan de gestión del riesgo.....	74
5.2.1 Resumen.....	75
5.2.2 Evaluación cualitativa del riesgo de desastres y cambio climático	75
5.2.3 Análisis de los resultados de la Evaluación cualitativa del riesgo de desastres y cambio climático y desarrollo de un Plan de gestión de riesgo de desastres (PGRD).....	82
5.2.4 Vínculos y concordancia entre el análisis cualitativo completo y análisis cuantitativos posteriores.....	83
5.2.5 Ejemplo 1: Modo de falla para un proyecto vial	85
5.2.6 Ejemplo 2: Análisis cualitativo completo que deriva en un análisis cuantitativo.....	86
6. Fase III - Evaluación cuantitativa.....	88
6.1. Paso 5 - Evaluación cuantitativa del riesgo y Plan de gestión de riesgo	90
6.1.1 Resumen.....	91
6.1.2 Consideraciones para realizar una evaluación cuantitativa del riesgo de desastres y cambio climático	91
6.1.3 Arquitectura de un modelo de riesgo	94
6.1.4 Análisis del riesgo	101
6.1.5 Análisis de resultados de riesgo.....	201

6.1.6 Evaluación y priorización de medidas de reducción de riesgo y Plan de gestión de riesgo de desastres y cambio climático (PGRD).....	203
7. Consideraciones finales.....	221
8. Referencias.....	223
Apéndice A: Acrónimos y abreviaturas.....	238
Apéndice B: Definiciones	240
Apéndice C: Mapas de amenazas para screening	242
Apéndice D: Software para la modelación de amenazas.....	264
Apéndice E: Conceptos básicos relacionados con el cambio climático	297
Apéndice F: Módulo de vulnerabilidad.....	304
Apéndice G: Opciones de mitigación del riesgo.....	316
Apéndice H: Incorporación del riesgo de desastres y cambio climático al análisis de viabilidad económica.....	375
Apéndice I: Términos de referencia.....	390
Apéndice J: Gestión del riesgo de desastres en operaciones de obras múltiples.....	404
Apéndice K: Ejemplos de infraestructura verde para drenaje ..	407





1. Organización de la Metodología

1. Organización de la Metodología

La Metodología consta de una Introducción, un Marco Conceptual, tres Fases, Consideraciones Finales, Referencias y once Apéndices.

2. Introducción
3. Marco conceptual de la Metodología de Evaluación del Riesgo de Desastres y Cambio Climático
4. Fase I - Screening y clasificación
5. Fase II - Evaluación cualitativa
6. Fase III - Evaluación cuantitativa
7. Consideraciones finales
8. Referencias

Apéndice A: Acrónimos

Apéndice B: Definiciones

Apéndice C: Mapas de amenazas para screening

Apéndice D: Software para la modelación de amenazas

Apéndice E: Conceptos básicos relacionados con el cambio climático

Apéndice F: Módulo de vulnerabilidad

Apéndice G: Opciones de mitigación del riesgo

Apéndice H: Incorporación del riesgo de desastres y cambio climático al análisis de vulnerabilidad económica

Apéndice I: Términos de referencia

Apéndice J: Gestión del riesgo de desastres en operaciones de obras múltiples

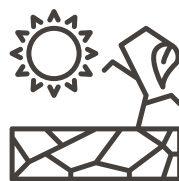
Apéndice K: Ejemplos de infraestructura verde para drenaje

La Metodología está organizada en cinco pasos – exposición a amenazas, criticidad y vulnerabilidad, evaluación cualitativa simplificada, evaluación cualitativa completa y evaluación cuantitativa – agrupados en tres fases – screening y clasificación, evaluación cualitativa y evaluación cuantitativa. Cada paso incluye texto y gráficos

descriptivos, instrucciones de respaldo y ejemplos de tipos de proyecto. A continuación se ofrece información adicional sobre las amenazas naturales y tipos de proyecto incluidos en esta guía.

1.1 Amenazas naturales

Si bien esta guía aborda once amenazas naturales típicas para la región de América Latina y el Caribe (ALC), la Metodología no se limita a estas amenazas y puede aplicarse a otras de origen natural. A efectos de la Metodología, el aumento del nivel del mar es evaluado como un parámetro de cambio climático que exacerba las amenazas costeras; si bien más adelante figura como una amenaza individual, no se lo trata como tal. A lo largo de la guía se utilizan íconos específicos para cada amenaza para identificar los lugares donde aparece información e instrucciones sobre las amenazas naturales. A continuación presentamos los íconos de las amenazas.



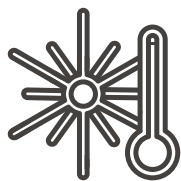
Sequía



Terremoto



Inundación

**Ola de calor****Aumento del nivel del mar****Marea de tormenta de huracán****Tsunami****Viento huracanado****Volcán****Deslizamiento de tierra****Incendio**

1.2 Tipos de proyecto

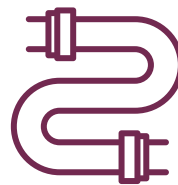
Esta Metodología presenta seis tipos de proyecto ilustrativos que constituyen una referencia robusta sobre consideraciones para proyectos específicos en términos de herramientas, enfoques y medidas de mitigación. Los tipos de proyecto presentados incluyen suministro de agua, gestión de aguas residuales, infraestructura de drenaje, infraestructura de transporte (vías con puentes y túneles), infraestructura hidroeléctrica e infraestructura social (como centros de salud

y escuelas), y fueron identificados como los más importantes para su inclusión por su recurrencia dentro del portafolio de inversiones del Banco Interamericano de Desarrollo (BID).

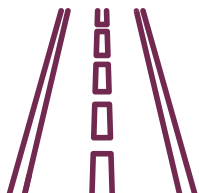
Hemos incluido material de referencia para cada tipo de proyecto para promover mayor implementación y una aplicación más sistemática de la Metodología. Los íconos informativos ayudarán al lector a encontrar fácilmente el tipo de proyecto de su interés.



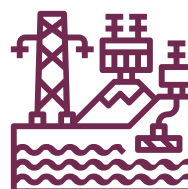
**Suministro de
agua**



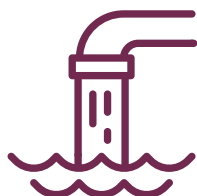
Drenaje



**Infraestructura
vial**



**Infraestructura
hidroeléctrica**



**Gestión de
aguas residuales**



**Infraestructura
social**

1.3 Información presentada en el informe

La información incluida en el presente informe ha sido desarrollada por ingenieros y expertos de alta jerarquía. En la mayoría de los casos, la información procede de las mejores prácticas aceptadas a nivel internacional y se basa en la mejor opinión profesional.

La Metodología le permite al usuario integrar condiciones específicas de su proyecto y del sitio

de emplazamiento, además de niveles adicionales de conocimiento técnico, a medida que avanza en los pasos correspondientes. El propósito de la Metodología no es que el usuario recurra únicamente a la información presentada en este documento para tomar decisiones sobre diseño u otras decisiones importantes para el proyecto.



2. Introducción

2. Introducción

Los efectos del cambio climático y los desastres originados por amenazas naturales constituyen un desafío importante para el desarrollo sostenible de la región de América Latina y el Caribe (ALC). Según el documento del Banco titulado *What is Sustainable Infrastructure: A Framework to Guide Sustainability Across the Project Cycle* (BID y BID Invest, 2018), la región es una de las más vulnerables a los impactos de un clima cambiante: en 2017, por ejemplo, las inundaciones originaron pérdidas económicas por US\$ 3.100 millones en Perú y 329 muertes en Colombia (Munich RE, 2017). Al sumar el cambio climático, los daños podrían costar a la región US\$ 100.000 millones por año hacia 2050. Análogamente, los desastres geofísicos también han afectado fuertemente a la región: por ejemplo, en 2010, el terremoto de Chile ocasionó pérdidas directas e indirectas por US\$ 30.800 millones y cerca de 521 muertes, y el de Haití pérdidas directas e indirectas por US\$ 7.800 millones y entre 150.000 y 230.000 muertes (cifra estimada) (GEM, s.f.).

Considerar el riesgo de desastres y cambio climático en el diseño y la construcción de proyectos es importante para aumentar su resiliencia. El Banco desarrolló una metodología para facilitar la identificación y evaluación de los riesgos de desastres y cambio climático y las oportunidades en materia de resiliencia en todos los proyectos relevantes durante sus fases de identificación, preparación e implementación. Esto constituye una valiosa oportunidad para alinear políticas, procedimientos y metodologías, y generar beneficios tangibles para los países clientes del Banco, beneficiarios y usuarios finales,

como así también para posibles inversores del sector privado.

Anclada en la actual Política de Gestión del Riesgo de Desastres (BID, 2007) y sus Directrices (BID, 2008)¹, esta Metodología se basa en el actual proceso de screening y lo fortalece, y orienta a los equipos a cargo de proyectos en la realización de evaluaciones del riesgo de desastres y cambio climático en operaciones relevantes, asegurando valor agregado para los proyectos. Si bien el objetivo es que el enfoque adoptado en esta Metodología tenga un campo de aplicación más amplio, es particularmente relevante para proyectos con componentes de infraestructura y está alineado con la Resolución de las Bahamas de 2016 (BID, 2016) y la Estrategia de Infraestructura Sostenible para la Competitividad y el Crecimiento Inclusivo del BID (BID, 2013).

En la Resolución de las Bahamas, la Asamblea de Gobernadores recibió con agrado el objetivo de la Gerencia de mejorar la evaluación de los riesgos climáticos e identificar oportunidades en materia de resiliencia y medidas de adaptación en la etapa de desarrollo conceptual de los proyectos. La Estrategia de infraestructura sostenible establece que ofrecer acceso al transporte, a la electricidad, al agua y a servicios de saneamiento mejora la calidad de vida a través de su impacto directo en la salud, la educación y las oportunidades económicas. Además, el Marco sobre infraestructura sostenible del Banco² (BID y BID Invest, 2018) incluye la resiliencia en su definición de infraestructura sostenible aclarando que los proyectos de infraestructura sostenible están (o deberían estar) situados y diseñados

¹ El Grupo BID actualmente se encuentra en un proceso de actualización de sus políticas, incluida la Política sobre Gestión del Riesgo de Desastres OP-704.

² Este Marco representa la base de la definición de infraestructura sostenible del Grupo BID y apoya la planificación, el diseño y el financiamiento de infraestructura sostenible desde el punto de vista económico, financiero, social, ambiental e institucional. El Marco presenta cuatro principios de sostenibilidad y propone un menú de más de sesenta criterios que son clave a la hora de operacionalizar la sostenibilidad. Esto ayuda en la identificación de acciones a lo largo del ciclo de proyecto que puedan aportar a una infraestructura sostenible, desde la planificación y definición de estrategias hasta el diseño, la construcción, la operación, el mantenimiento y el desmantelamiento de proyectos.

para asegurar su resiliencia ante los riesgos climáticos y de desastres naturales³. Por consiguiente, al promover la resiliencia de los proyectos, el Banco promueve su compromiso de mejorar la vida de las personas en la región.

La Metodología también está alineada con la temática transversal del cambio climático y de la sostenibilidad ambiental y con el desafío de desarrollo de productividad e innovación de la Actualización de la Estrategia Institucional 2010-2020 (AB-3008), con el Plan de Acción sobre el Cambio Climático del Grupo del BID 2016-2020 (GN2848-4) y con el Documento Marco del Sector de Cambio Climático (CSD, 2015).

Para evaluar y validar sus conceptos y enfoque, esta Metodología fue sometida a una prueba piloto mediante el análisis y desarrollo de evaluaciones de riesgo en diecisiete (17) proyectos financiados por el Banco en etapa de preparación y/o ejecución desde 2016 hasta 2018, lo cual fue esencial para alimentar el proceso⁴. Además, las lecciones aprendidas de una revisión minuciosa de las evaluaciones del riesgo de desastres y cambio climático realizadas a la fecha han demostrado ser un valioso aporte para esta Metodología. Entre las lecciones aprendidas clave está la importancia de complementar la información sobre amenazas y cambio climático (CC) con datos sobre vulnerabilidad y criticidad de los proyectos, y la necesidad de que las evaluaciones de riesgo incluyan enfoques no solo cuantitativos, sino también cualitativos.

Si bien la Metodología es el resultado del trabajo realizado por especialistas de la División de Cam-

bio Climático y Sostenibilidad (CSD/CCS), de la División de Medio Ambiente, Desarrollo Rural y Gestión del Riesgo de Desastres (CSD/RND) y de la Unidad de Salvaguardias Ambientales y Sociales (VPS/ESG), la cooperación con diversos sectores fue crítica en el proceso de pruebas piloto y ampliación del desarrollo de la Metodología.

Este documento individualiza cada paso y explica diferentes tipos de riesgos, como así también cuestiones sectoriales específicas que deben abordarse, ofrece apoyo práctico a los líderes de equipos de diversos sectores, a las agencias ejecutoras, a los expertos técnicos y a las agencias externas de consultoría y diseño sobre cómo integrar consideraciones sobre riesgo de desastres y cambio climático en la preparación e implementación de proyectos, cuando corresponde.

2.1 Antecedentes y contexto

Los impactos del riesgo de desastres y cambio climático constituyen una creciente preocupación dado que reducen la previsibilidad sobre futuras necesidades en materia de infraestructura y aumentan la vulnerabilidad de las poblaciones y de los activos (Reyer y otros, 2017). En el marco de la planificación sostenible, los proyectos de desarrollo deberían considerar el riesgo y las oportunidades actuales y futuras en materia de resiliencia en las etapas de diseño, construcción y operación (BID Y BID Invest, 2018).

En 2007 el Banco incorporó el riesgo de desastres (incluidos los riesgos procedentes de variaciones climáticas) al ciclo de los proyectos como parte de la Política de gestión del riesgo de

3 El Grupo BID define infraestructura sostenible del siguiente modo: "Aquellos proyectos de infraestructura que son planificados, diseñados, construidos, operados y al fin de vida removidos de forma tal que se asegure la sostenibilidad económica y financiera, social, ambiental (incluida la resiliencia climática) e institucional durante el ciclo de vida completo del proyecto." El riesgo de desastres y cambio climático está incluido en el principio de sostenibilidad ambiental (incluida la resiliencia climática) en la preparación y el diseño del proyecto, e incluye los siguientes criterios de sostenibilidad: 1) evaluación de riesgos climáticos y diseño del proyecto resiliente y 2) optimización del diseño del proyecto y de los sistemas de gestión del riesgo de desastres.

4 Se realizaron las siguientes actividades: (i) análisis de evaluaciones del riesgo de desastres y cambio climático o de estudios equivalentes para proyectos desde 2016 hasta 2017; (ii) reuniones enfocadas con especialistas sectoriales para abordar aspectos de vulnerabilidad y criticidad de proyectos en subsectores relevantes; (iii) formulación de una propuesta metodológica, incluida su revisión por parte de pares; (iv) prueba piloto de las fases de la metodología en proyectos del BID clasificados como de riesgo alto o moderado en la etapa de preparación o que presentan aspectos relevantes de riesgo de desastres y cambio climático identificados durante la supervisión; (v) desarrollo de capacidades sobre evaluación del riesgo de desastres y cambio climático. El pilotaje consistió en proveer apoyo a proyectos de distintas maneras: en algunos proyectos se realizó una evaluación del riesgo de desastre por separado, en otros este análisis fue incluido como parte de las evaluaciones de impacto ambiental y social, en otros se incluyeron consideraciones de riesgo climático como parte del Anexo Técnico de Cambio Climático al POD, en otros se proveyó acompañamiento técnico directamente a firmas diseñadoras, y en otros se han realizado inspecciones técnicas post evento.

desastres (GRD) (OP-704) - Directiva A2 - Riesgo y viabilidad de los proyectos⁵ con el objeto de ofrecer orientación a los equipos a cargo de proyectos de los sectores público y privado financiados por el Banco. Las Directrices de la Política de GRD (GN-2354-11) de 2008 definen un procedimiento para evaluar el riesgo de desastres de los proyectos que incluye: (i) screening y clasificación de los proyectos integrada al sistema de salvaguardias (filtro y formulario de screening de la Política) y (ii) una Evaluación del Riesgo de Desastres (ERD) y un Plan de Gestión del Riesgo de Desastres (PGRD), si el proyecto es clasificado como de riesgo alto, o una ERD, si el proyecto es clasificado como de riesgo moderado.

Las Directrices de la Política de GRD mencionan en forma explícita el cambio climático. La sección Amenazas naturales y cambio climático establece que las Directrices se aplican para las amenazas completamente naturales, incluidas las amenazas hidrometeorológicas tales como tormentas de viento, inundaciones y sequías, asociadas a la variabilidad climática actual como así también a los cambios esperados en las condiciones climáticas a largo plazo. Según las Directrices, se prevé que el cambio climático altere el riesgo de desastres de algunos países (sus probables pérdidas) ya que modificará las características de las amenazas hidrometeorológicas. También se menciona la probabilidad de que el cambio climático incida en las amenazas relacionadas con el tiempo meteorológico (y por lo tanto en las pérdidas probables), principalmente de tres modos: (i) alternado la intensidad y frecuencia de los fenómenos climáticos extremos, es decir, huracanes, tormentas tropicales, sequías, olas de calor y olas de frío; (ii) modificando las condiciones meteorológicas y la variabilidad climática promedio, por ejemplo, los niveles de precipitación; y (iii) originando peligros que podrían ser nuevos para cierta región, como un aumento en

el nivel de los océanos y en el derretimiento de los glaciares, que pueden agravar las mareas de tormenta y las inundaciones costeras, como así también las inundaciones y las sequías en las cuencas.

En 2016 el BID estableció una Comunidad de práctica sobre la resiliencia (CPR)⁶. La CPR se encuentra actualmente integrada por especialistas de la División de Medio Ambiente, Desarrollo Rural y Gestión de Riesgo de Desastres (CSD/RND), la División de Cambio Climático y Sostenibilidad (CSD/CCS) y la Unidad de Salvaguardias Ambientales y Sociales (VPS/ESG). Está abierta a la participación de otras divisiones y su objetivo es incorporar la resiliencia en los diversos sectores y proyectos dentro del BID. Los objetivos de la CPR son (i) aportar un mejor entendimiento de los factores que determinan la resiliencia y, por lo tanto, la sostenibilidad de los programas que promueven el desarrollo en la región de América Latina y el Caribe; (ii) aprovechar el conocimiento existente y las lecciones aprendidas para mejorar la resiliencia de los proyectos financiados por el BID; y (iii) fortalecer las capacidades del Banco y de sus clientes para incorporar la resiliencia en los programas de desarrollo.

Para lograr estos objetivos, y en línea con los compromisos internacionales del Banco en materia de resiliencia, la CPR propuso un Plan Operativo Trienal enfocado en formular una propuesta metodológica que sirva como recurso para (i) implementar la Directiva A2 de la Política de gestión del riesgo de desastres OP-704 relacionada con la integración de evaluaciones de riesgo de desastres (incluido el CC) en las operaciones financiadas por el Banco; y (ii) cumplir el objetivo de la Gerencia de mejorar la evaluación de los riesgos climáticos y la identificación de oportunidades en materia de resiliencia y medidas de adaptación en la etapa conceptual de los proyectos (Resolución de las Bahamas). La CPR ha trabajado con puntos focales y grupos motivacionales en todo el Grupo del BID

5 En la sección titulada Identificación y reducción del riesgo del proyecto, la Directiva A-2 de la Política, que trata sobre Riesgo y viabilidad del proyecto, establece que "los proyectos de los sectores público y privado financiados por el Banco incluirán las medidas necesarias para reducir el riesgo de desastres hasta alcanzar niveles aceptables determinados por el Banco en base a estándares y prácticas generalmente aceptados. El Banco no financiará proyectos que, según su análisis, aumenten la amenaza de pérdida de vidas humanas, daños significativos a los seres humanos, disrupción económica severa o daños significativos relacionados con amenazas naturales."

6 La CPR ya venía celebrando reuniones informales desde 2012. Antes del desarrollo de esta Metodología, se publicaron otras notas técnicas, por ejemplo "Addressing climate change within disaster risk management: a practical guide for IDB Project Preparation", 2015, y anteriormente "Climate Change Data and Risk Assessment Methodologies for the Caribbean", 2014. El presente documento incluye algunos de los hallazgos de esas publicaciones previas pero propone también nuevas acciones basadas en una revisión de la práctica actual.

para recabar conocimiento y proponer un enfoque relevante para los distintos sectores. El resultado de este proceso consultivo fue la creación conjunta de la Metodología de evaluación del riesgo de desastres y cambio climático en 2017, que luego fue perfeccionada mediante proyectos piloto desarrollados durante 2018, como ya se mencionó.

Esta Metodología está alineada con los enfoques para evaluaciones del riesgo de desastres y cambio climático adoptados por otros bancos multilaterales de desarrollo (WRI, 2018). Estos esfuerzos incluyen también la formulación de indicadores de resiliencia que pueden alimentar la matriz de resultados de los proyectos. La División de Cambio Climático, en conjunto con un grupo de sectores dentro del Banco, se encuentra trabajando en esto mediante el desarrollo de un marco de resiliencia conceptual para operativizar la resiliencia

climática a nivel de proyecto y sectorial. El Banco se propone aplicar esta Metodología en sus proyectos a partir de 2019.

2.2 Objetivo y audiencia

¿Cómo realizar el screening (identificación y clasificación) de un proyecto y su evaluación en materia de desastres y cambio climático? Una vez identificados los riesgos durante la fase de screening, ¿cuáles son los siguientes pasos en su análisis? ¿Por qué nos debería importar? (Véase el Recuadro 2.1) ¿Cómo incorporar el riesgo de desastres y cambio climático en las diferentes etapas del proyecto? El objetivo de la Metodología propuesta es responder estas preguntas y brindar así un marco robusto a nivel técnico y operativo que sirva de guía para evaluar el riesgo de desastres y cambio climático de los proyectos.

Recuadro 2.1. ¿Por qué nos debería importar?



La exposición es generalizada

La región de América Latina y el Caribe (ALC) está expuesta a numerosas amenazas naturales y sus impactos ya se sienten. En 2017 la región sufrió diversos fenómenos que incluyeron deslizamientos de tierra en Colombia, inundaciones en Perú, terremotos en México, huracanes en la región del Caribe e incendios en Chile, entre otros, que ocasionaron miles de muertes e incontables daños.



Las pérdidas humanas y económicas obstaculizan el desarrollo

Si bien el impacto más grave de un desastre es el número de muertes, las pérdidas físicas también son extremadamente importantes porque afectan la conectividad, los servicios básicos e instalaciones como hospitales, escuelas y demás infraestructura fundamental y, en el peor de los casos, podrían ocasionar muertes indirectas. La infraestructura fuera de servicio como resultado de un fenómeno puede afectar también el desarrollo económico nacional y regional en el mediano y largo plazo. Los desastres afectan particularmente a las personas que viven en la pobreza y destruyen la capacidad productiva, lo que ocasiona una baja en la productividad y la demanda laboral, disminuyendo así los niveles de empleo y perpetuando potencialmente el ciclo de la pobreza en el corto plazo.



El cumplimiento de los objetivos de los proyectos se ve comprometido

Ignorar el riesgo de desastres y cambio climático durante la preparación, el diseño y la implementación de un proyecto aumenta su exposición y vulnerabilidad ante amenazas naturales y podría obstaculizar el logro de los objetivos del proyecto. Podría acortar el alcance temporal de un proyecto o incluso ocasionar pérdidas económicas, además de costos económicos incrementales debido a la necesidad de realizar inversiones periódicas para reparar estructuras o reemplazarlas.

Para reducir el riesgo de desastres y cambio climático de los proyectos, el BID se ha comprometido a integrar estas consideraciones de forma sistemática en todo su portafolio de proyectos mediante la evaluación de dichos riesgos durante todo el ciclo de vida de los proyectos, permitiendo así que los equipos a cargo de proyectos implementen las medidas de adaptación necesarias para abordar los riesgos identificados.

2.2.1 Audiencia

Esta Metodología fue concebida como un recurso práctico que pueden utilizar los líderes de equipos en todos los sectores, las agencias ejecutoras, los expertos técnicos y las firmas externas de consultoría y diseño para integrar consideraciones en materia de riesgo de desastres y cambio climático en las fases de preparación e implementación del proyecto, en el momento oportuno y en caso de ser necesario.

2.2.2 Ámbito de aplicación

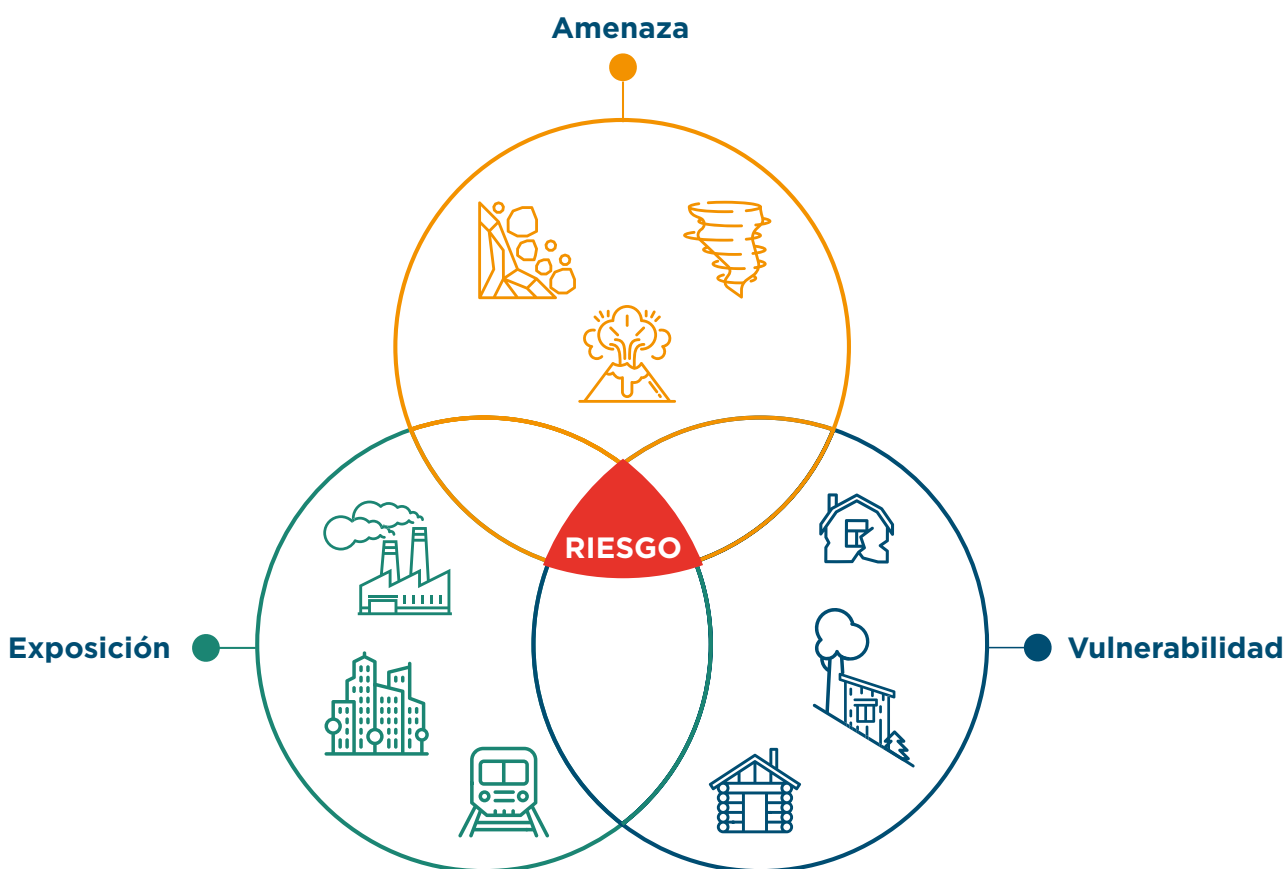
Las evaluaciones de riesgo, por naturaleza, están orientadas hacia el hallazgo de soluciones. Su objetivo es hallar las medidas más apropiadas para reducir y/o mitigar riesgos y brindan un diagnóstico que permite identificar oportunidades en materia de resiliencia. El desarrollo de un proceso de screening y evaluación del riesgo de desastres y cambio climático es uno de los diversos métodos que utiliza el Banco para reducir los riesgos y aumentar la resiliencia. Otros métodos incluyen: (1) la producción de conocimiento en materia de gestión del riesgo de desastres y cambio climático a través de, por ejemplo, evaluaciones del riesgo de los países, perfiles de cambio climático de los países e indicadores tales como el Índice de gobernabilidad y políticas públicas en gestión del riesgo de desastres (iGOPP, por sus siglas en inglés), (2) asesoramiento para los programas de los países, (3) operaciones de respuesta ante emergencias y proyectos de rehabilitación posterior a desastres, (4) preparación y realización de proyectos de reconstrucción, incluida la reformulación de préstamos, (5) reformas de políticas para fortalecer el marco regulatorio de GRD mediante Préstamos Basados en Políticas, (6) instrumentos de protección financiera, tales como líneas de crédito contingente paramétrico y (7) la incorporación de consideraciones sobre GRD y CC de forma directa en proyectos de los distintos sectores.

Esta Metodología se aplica principalmente a proyectos con componentes de infraestructura⁷ en etapa de preparación, en diversos sectores financiados por el BID. Puede utilizarse para ayudar a que los proyectos cumplan con la OP-704, para apoyar la incorporación de esfuerzos orientados a aumentar la resiliencia y como una buena práctica por parte de los equipos a cargo de proyectos. La Metodología fue concebida y diseñada para proyectos de mediana a gran escala (tanto estructuras individuales como sistemas) que incluyen diversas intervenciones en entornos urbanos. Es un documento dinámico que continuará actualizándose a medida que emerjan nuevos datos y métodos relacionados con la gestión del riesgo de desastres y cambio climático. La CPR está disponible para ofrecer apoyo integral a los equipos a cargo de proyectos, incluso en la preparación de términos de referencia y en la supervisión de estudios.

2.3 Breve reseña sobre riesgo de desastres y cambio climático

Según la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres, el riesgo de desastres se refiere a “la posibilidad de que se produzcan muertes, lesiones o destrucción y daños en activos en un sistema, una sociedad o una comunidad en un periodo de tiempo específico, determinados (...) en función de la amenaza, la exposición, la vulnerabilidad y la capacidad” (UNDRR, 2017: 14). En otras palabras, el riesgo de desastres es la posibilidad que existe únicamente en la interacción de sus tres componentes y no se lo puede describir con base en uno sólo de estos factores (Véase la Figura 2.1).

⁷ Para las operaciones de obras múltiples se debe aplicar tres conceptos principales: 1. El programa completo debe clasificarse con base en una muestra de proyectos, 2. La muestra puede requerir una ERD, si corresponde, y 3. Se debe establecer una Matriz de Riesgo de Desastres para todo el programa de acuerdo con la clasificación del riesgo, siguiendo esta Metodología. Para conocer más detalles, consulta el Apéndice J.

Figura 2.1. Cómo se compone el riesgo de desastres y cambio climático

El componente de amenaza en este contexto se refiere a fenómenos de origen natural que suponen una amenaza a la población o a la propiedad y que podrían por lo tanto causar daños, pérdidas económicas, lesiones y pérdida de vidas⁸. La Metodología considera tanto las amenazas geofísicas, incluidos los terremotos, deslizamientos de tierra, erupciones volcánicas y tsunamis, como las relacionadas con el clima, incluidos los incendios, los huracanes, las inundaciones pluviales, fluviales y costeras, las olas de calor y las sequías.

El componente de exposición se refiere a la coincidencia espacial y temporal de personas o activos (tanto físicos como ambientales) y las amenazas naturales. Por lo tanto, las comunidades (Hallegatte y otros, 2017), los activos, los servicios o las poblaciones situados dentro del área de influencia de las amenazas naturales se consideran expuestos a esas amenazas y a la posibilidad de sufrir daños.

El componente de vulnerabilidad se refiere a cuán susceptible de ser perjudicada o dañada es una entidad. En el caso de activos, sistemas y personas, son sus características intrínsecas, internas, individuales y combinadas lo que, por naturaleza, los hace proclives (o, por el contrario, resistentes) a sufrir un daño. En este contexto, la vulnerabilidad se define en términos de la posibilidad de verse afectado por amenazas naturales únicamente. Otra dimensión que caracteriza a la vulnerabilidad que puede ser útil considerar se refiere a la capacidad de recuperación de un sistema, activo o personas/comunidad luego de sufrir un desastre. Asimismo, a más largo plazo, la capacidad de aprender de lo ocurrido (es decir, capacidad adaptativa) puede ser extremadamente beneficiosa.

Por último, cabe destacar que los desastres constituyen la materialización del riesgo (la consecuencia) y que la ausencia de desastres no implica una correspondiente ausencia de riesgo.

⁸ Las amenazas de origen humano se encuentran fuera del alcance de esta Metodología, incluidas las amenazas tecnológicas y otras causadas por la actividad humana, como epidemias/pandemias, amenazas causadas por violencia social y política (es decir, amenazas originadas por conflictos) y shocks financieros.



Recuadro 2.2. ¿Cómo se relaciona el riesgo del cambio climático con el riesgo de desastres?

Tal como lo declaró el Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2012) en su Informe especial sobre la gestión de los riesgos de fenómenos meteorológicos extremos y desastres para mejorar la adaptación al cambio climático (o SREX), el cambio climático se refiere a una modificación perdurable del estado del clima que “puede deberse a procesos internos naturales, a forzamientos externos o a cambios antropogénicos persistentes en la composición de la atmósfera o en el uso de la tierra”. Esta definición resulta pertinente en el contexto de este documento ya que sirve para subrayar que en esta Metodología el foco en el cambio climático no se refiere a investigar sus disparadores y causas, sino a examinar los efectos que la alteración del clima (independientemente de su origen) tiene en las condiciones ya existentes, en particular con relación al riesgo de desastres.

Dependiendo de la escala de tiempo de interés, es necesario realizar una importante distinción entre variabilidad climática natural y cambio climático global forzado. El cambio climático se caracteriza generalmente según un conjunto de escenarios de emisión o forzamientos radiativos futuros que representan diferentes trayectorias posibles que el sistema climático podría seguir. El objetivo de estas trayectorias es principalmente ilustrar (y diferenciar) la dirección y magnitud de los cambios promedio esperados asociados a cada escenario y brindar un rango de incertidumbre en torno a la “trayectoria” proyectada. Un elemento de la incertidumbre procede de las diferencias entre los modelos y la forma en que proyectan la magnitud y la extensión espacial de los cambios inducidos. Un segundo elemento, de igual importancia como parte de dicha incertidumbre, procede de la variabilidad climática natural que refleja el aspecto “meteorológico” del sistema climático, que es el ruido (aleatorio) diario del tiempo meteorológicas en cualquier ubicación geográfica del mundo que fluctúa en torno a la media climatológica. Es importante reconocer que a escalas regionales y locales, el ruido domina la variabilidad diaria y puede también superar la señal esperada del cambio climático por muchos años hacia el futuro cuando las magnitudes de los forzamientos aún son relativamente pequeñas y cuando la respuesta del sistema terrestre no tuvo tiempo de desarrollarse por completo.

A pesar de los fuertes vínculos que existen entre el riesgo de desastres y la ciencia del cambio climático y la adaptación al mismo, se ha considerado erróneamente que se trata de disciplinas no relacionadas, principalmente porque el cambio climático también incluye cuestiones relacionadas con mitigación climática (reducción de emisiones) y porque el riesgo de desastres también aborda el riesgo geofísico. No obstante, la variabilidad natural crea un vínculo crítico entre las dos disciplinas, al menos en el corto plazo. Si bien los valores que se alejan de las medias generales suelen ser indicativos de riesgo de desastres, para el riesgo climático futuro es precisamente esa variabilidad natural que viene superpuesta sobre un contexto cambiante lo que primero causa impactos significativos, en general mucho antes de que cualquier alteración en las condiciones climáticas promedio imponga nuevas amenazas. De hecho, los cambios más inmediatos en términos de riesgo climático pueden resultar visibles en los extremos, como en los extremos de calor y en la intensidad de tormentas y lluvias, que responden directamente a las alteraciones en la temperatura superficial y atmosférica. Este reconocimiento ha reducido gradualmente la separación entre las perspectivas de desastre y de riesgo de cambio climático. La adaptación al cambio climático ha cobrado mayor importancia a medida que los gobiernos y las instituciones han tomado conciencia sobre la necesidad del mundo de adaptarse a los cambios en el clima. Esta intersección del riesgo de desastres y de la adaptación al cambio climático ha sido reconocida tanto por el IPCC como por la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNDRR), y dio como resultado el informe titulado Gestión de los riesgos de fenómenos meteorológicos extremos y desastres para mejorar la adaptación al cambio climático (SREX) (IPCC, 2012).

A diferencia de las amenazas de respuesta rápida originadas por el cambio climático que se relacionan de forma inmediata con cambios en la temperatura superficial y atmosférica, otros aspectos del sistema climático están cambiando con mayor lentitud. Los cambios en los suelos o en la vegetación, o las reducciones en la criosfera (nieve y hielo) toman más tiempo. Una de las señales más lentas del cambio climático es el aumento del nivel del mar. Consiste en el proceso físico de incremento del contenido de calor de los océanos del mundo mediante la filtración de aguas superficiales más cálidas hacia niveles más profundos, ocasionando una expansión térmica en las capas más profundas del océano. Otro factor procede del derretimiento de hielo en los ambientes de alta montaña y polares, que ocasiona un mayor flujo de agua dulce hacia los océanos. El tiempo necesario para que el nivel del mar se ajuste por completo a un mundo más caliente comprende varios siglos y milenios. En resumen, es importante reconocer que los efectos del cambio climático evolucionarán con el tiempo. Algunas respuestas se relacionan de forma directa con cambios en la composición atmosférica, con los forzamientos radiativos y, por consiguiente, con cambios en la temperatura de la superficie particularmente (amenazas de evolución rápida). Otras respuestas pueden tomar más o mucho más tiempo para materializarse como cambios en amenazas conocidas (amenazas de evolución lenta). Las primeras son difíciles de disociar de los riesgos de desastres del “ahora”, mientras que las últimas constituyen los efectos lentos del cambio climático.

Por lo tanto, la influencia del cambio climático en el riesgo de desastres es lo que esta Metodología denomina riesgo del cambio climático. Esto significa principalmente incorporar un componente de cambio y variabilidad (e incertidumbre) al tratamiento hasta ahora estático de los peligros relacionados con fenómenos hidrometeorológicos (en el futuro) en el riesgo de desastres. En cierto modo, el cambio climático podría considerarse como un factor de modificación (y posiblemente de exacerbación) del riesgo de desastres.



El riesgo de desastres y cambio climático, en el contexto de esta Metodología, es entonces el resultado de la coexistencia de una amenaza (influenciada por amenazas de evolución lenta y rápida del cambio climático, si corresponde) y una población o un activo que no sólo se encuentra expuesto a este peligro, sino que además es vulnerable a ser dañado por él.

2.3.1 ¿Qué es una Evaluación del Riesgo de Desastres a nivel de proyecto?

Una Evaluación del Riesgo de Desastres⁹ (ERD) en el contexto de esta Metodología se refiere a la evaluación del riesgo de desastres y cambio climático de un proyecto en particular (consultar las Directrices, párrafo 3.17, para obtener una definición completa de ERD). Según la definición de riesgo de desastres y cambio climático ya analizada, una ERD constituye entonces un “enfoque cualitativo o cuantitativo para determinar la naturaleza y el alcance del riesgo de desastres mediante el análisis de posibles amenazas y la evaluación de las condiciones existentes de exposición y vulnerabilidad que conjuntamente podrían causar daños a las personas, los bienes, los servicios, los medios de vida y el medio ambiente” (UNDDR, 2017: 15). A efectos de la Meto-

dología del BID, la ERD incluye un Plan de Gestión del Riesgo de Desastres y Cambio Climático (PGRD) que incluye medidas específicas para reducir el riesgo identificado en la evaluación.



2.4 Diagnóstico sobre la práctica actual

La Política de Gestión del Riesgo de Desastres aprobada en 2007 y sus correspondientes Directrices de 2008 constituyen un marco conceptual y operativo muy importante que representa un compromiso respecto de una forma moderna de concebir, diseñar e implementar proyectos. La implementación piloto de evaluaciones del riesgo de desastres y cambio climático en proyectos conforme a este marco ha posibilitado realizar numerosos hallazgos e identificar lecciones aprendidas (Véase la Tabla 2.1) que merecen mencionarse dado que informan la Metodología mediante la incorporación de soluciones. La Metodología también toma en cuenta avances significativos en el análisis del riesgo de desastres y cambio climático logrados en la última década y ofrece apoyo adicional a los equipos de proyecto para la aplicación de la Política y sus Directrices.

⁹ A efectos de este documento, este término y su sigla (ERD) se utilizan indistintamente con los términos Evaluación del Riesgo de Amenazas Naturales y Evaluación del Riesgo de Desastres y Cambio Climático. Asimismo, el término Plan de Gestión del Riesgo de Desastres (PGRD) se utiliza indistintamente con el término Plan de Gestión del Riesgo de Desastres y Cambio Climático.

Tabla 2.1. Diagnóstico y soluciones con relación a la práctica sobre ERD del BID

Hallazgo	Lecciones aprendidas	Soluciones
 <p>Aplicación no sistemática de la Política</p>	<p>Si bien la Política de gestión del riesgo de desastres existe desde hace más de diez años, no ha sido aplicada de forma sistemática en todo el universo de operaciones respaldadas por garantías soberanas y no soberanas durante el ciclo de los proyectos.</p>	<p>El BID ha estado trabajando en un proceso para facilitar la aplicación de la Política, para probarla en proyectos y recibir comentarios de los sectores. La Metodología propuesta sirve como un documento práctico para facilitar a los equipos a cargo de proyectos la aplicación sistemática de la Política.</p>
 <p>Distinción de tipos de riesgo</p>	<p>Según la Directiva A.2 de la Política de Gestión del Riesgo de Desastres, existen dos “escenarios de riesgo” distintos:</p> <p>TIPO 1: “Es probable que el proyecto esté expuesto a amenazas naturales debido a su ubicación geográfica”.</p> <p>TIPO 2: “El proyecto en sí mismo tiene el potencial de exacerbar el riesgo de amenaza para la vida humana, los bienes, el medio ambiente o el propio proyecto”.</p> <p>En la práctica, esta distinción plantea ciertos desafíos a los responsables de gestionar los riesgos. De hecho, según las Directrices de la Política, el escenario de riesgo de Tipo 2 debe ser abordado según el punto B.3 de la Política de Medio Ambiente y Cumplimiento de Salvaguardias (OP-703).</p>	<p>Si bien los impactos del riesgo de desastres y cambio climático en las operaciones pueden dar lugar a dos tipos de consecuencias (impactos en la propia operación y su viabilidad e impactos en las comunidades aledañas), desde el punto de vista técnico, idealmente el riesgo debe analizarse como un todo.</p> <p>Esta Metodología está diseñada para permitir en la mayoría de los casos una evaluación unificada del riesgo y genera productos que son útiles para todos los actores involucrados, incluidos los líderes de equipos a cargo de proyectos y especialistas de VPS/ESG.</p>
 <p>Clasificación del riesgo sesgada hacia la amenaza</p>	<p>Históricamente, al componente de amenaza se le ha otorgado mayor peso que al riesgo en su conjunto, sin considerar de forma suficiente el componente de vulnerabilidad. Además, la screening se suele realizar al inicio del ciclo del proyecto, cuando aún se suele contar con información limitada sobre los detalles del proyecto. Como resultado de ello, se han realizado clasificaciones de riesgo sesgadas hacia la amenaza que no reflejan un entendimiento integral del riesgo.</p>	<p>Para solucionar esto, la Metodología propone un segundo nivel de clasificación para revisar la clasificación mediante la inclusión de un análisis preliminar de vulnerabilidad y criticidad de la operación a fin de obtener un análisis más equilibrado.</p> <p>Además, la Metodología supone un proceso secuencial de diversos pasos y la vulnerabilidad está incluida en toda la Metodología y en las correspondientes etapas del ciclo del proyecto.</p>
 <p>Ausencia de un proceso metodológico en las ERD implementadas en el pasado</p>	<p>Un análisis de las ERD implementadas en el pasado demuestra que carecían de un proceso metodológico consistente que definiera un modo estándar y claro de llevar a cabo las evaluaciones. Por lo tanto, su calidad variaba considerablemente, existía una marcada desconexión entre las características específicas del proyecto y los cálculos de riesgo, los esfuerzos de modelación no eran acordes a los niveles de riesgo y al alcance del proyecto y las recomendaciones y medidas de reducción de riesgos propuestas eran demasiado generales. Asimismo, debido a que las evaluaciones cuantitativas del riesgo son técnicamente complejas y costosas, y que los riesgos a los que puede estar expuesto un proyecto son numerosos, es necesario reducir el alcance de este tipo de valuaciones.</p>	<p>La Metodología propuesta tiene como objetivo solucionar este problema ofreciendo un proceso robusto que define con claridad y reúne métodos y técnicas estándar para realizar ERD, al tiempo que ofrece diversas opciones según el tipo de proyecto, el nivel de riesgo y el grado de detalle requerido.</p> <p>Además, la Metodología incluye una evaluación cualitativa del riesgo que se realiza antes de la evaluación cuantitativa completa y que sirve como filtro para enfocarse en los aspectos que verdaderamente requieren de un tratamiento cuantitativo. El Paso 3 detalla los criterios mínimos a considerar en un análisis cualitativo del riesgo.</p>

Hallazgo	Lecciones aprendidas	Soluciones
 <p>Incertidumbre sobre el cambio climático</p>	<p>Existen importantes incertidumbres que afectan la incorporación de consideraciones sobre el cambio climático en la evaluación del riesgo a nivel del proyecto.</p>	<p>Esta Metodología ofrece orientación para entender conceptos sobre cambio climático e incluye técnicas para incorporar proyecciones sobre el cambio climático en las evaluaciones de riesgo.</p>
 <p>Limitada disponibilidad de datos en los países de ALC</p>	<p>Si bien la realización de una evaluación cuantitativa del riesgo es fundamental para poder incluir el riesgo de desastres en los análisis de costo/beneficio y viabilidad de los proyectos, la disponibilidad de información a nivel de proyecto constituye un desafío importante.</p> <p>Numerosos países de ALC cuentan con datos insuficientes para realizar evaluaciones cuantitativas. Asimismo, la recopilación de la información necesaria para realizar este tipo de evaluaciones puede ser extremadamente costosa o extenderse más allá del periodo de preparación del proyecto. Como resultado de ello, se han realizado clasificaciones de riesgo sesgadas hacia la amenaza que no reflejan un entendimiento integral del riesgo.</p>	<p>La Metodología propuesta incluye la realización de evaluaciones cualitativas del riesgo que servirán como base para determinar el alcance de una posterior evaluación cuantitativa, si es necesario.</p> <p>Además, la Metodología ofrece orientación sobre cómo realizar análisis cuantitativos robustos adaptables a diferentes condiciones de disponibilidad de información de los proyectos.</p> <p>Asimismo, los análisis de sensibilidad pueden constituir una opción menos compleja para complementar los análisis de costo/beneficio en los proyectos correspondientes.</p>

*Nota: Si alguno de los impactos del Tipo 2 no está incluido en la ERD, el escenario Tipo 2 puede abordarse según la Política de Cumplimiento de Medio Ambiente y Salvaguardias (OP-703).



3.

Marco conceptual de la Metodología de Evaluación del Riesgo de Desastres y Cambio Climático

3. Marco conceptual de la Metodología de Evaluación del Riesgo de Desastres y Cambio Climático

3.1 Estructura de la Metodología

La Metodología propuesta en este documento para la evaluación y gestión del riesgo de desastres y cambio climático de los proyectos toma en consideración los niveles de información disponible en cada etapa del proyecto¹⁰, la variedad de proyectos y operaciones financiados por el BID y la disponibilidad de información dependiendo del país y del tipo de amenaza.

La Metodología reconoce la incertidumbre del cambio climático; la incertidumbre es inherente a las condiciones futuras, incluidas las relacionadas con el clima. Reconociendo que existe el doble riesgo de “sobrediseñar” soluciones (por ejemplo, utilizando métodos o medidas de mitigación costosos que no son necesariamente apropiados) y de no contemplar totalmente las condiciones futuras (por ejemplo, no considerar de forma apropiada condiciones futuras que podrían afectar las inversiones), la Metodología integra enfoques ascendentes (*bottom-up*) que tienen mayor probabilidad de conducir a una solución con bajos niveles de “lamentaciones”, en la que los riesgos significativos se abordan mediante estrategias que también tienen la potencialidad de minimizar costos y lograr cobeneficios valiosos incluso si el clima futuro difiere de la tendencia central de las predicciones de los modelos. Para lograrlo, es necesario reconocer y entender el contexto del clima y del riesgo climático y cómo es probable que cambie.

El resultado es un proceso sistemático y viable que agrega resiliencia, sostenibilidad y valor a los proyectos. Según las principales conclusiones obtenidas del diagnóstico presentado anteriormente, los principios fundamentales que inspiran esta Metodología son los siguientes:

- Cumplimiento con el mandato esencial de la Política sobre no financiar proyectos que aumenten el riesgo social, económico o ambiental en términos absolutos con respecto a la línea de base.
- Aclaración de las implicancias de considerar dos tipos de “escenarios” de riesgo (Tipo 1 y Tipo 2), alineando las disposiciones de la Política de gestión del riesgo de desastres con los procesos, pero considerando el riesgo en su conjunto, para el proceso de análisis y evaluación.
- Mejoramiento de los procesos y productos que se obtienen del screening y la clasificación (las evaluaciones de riesgo de desastres y cambio climático (ERD) y los planes de gestión del riesgo de desastres y cambio climático (PGRD)) mediante el fortalecimiento del marco conceptual, posibilitando un proceso escalable, desarrollando herramientas y recomendaciones concretas y realizando pruebas piloto de la Metodología junto con los diversos sectores del Banco.

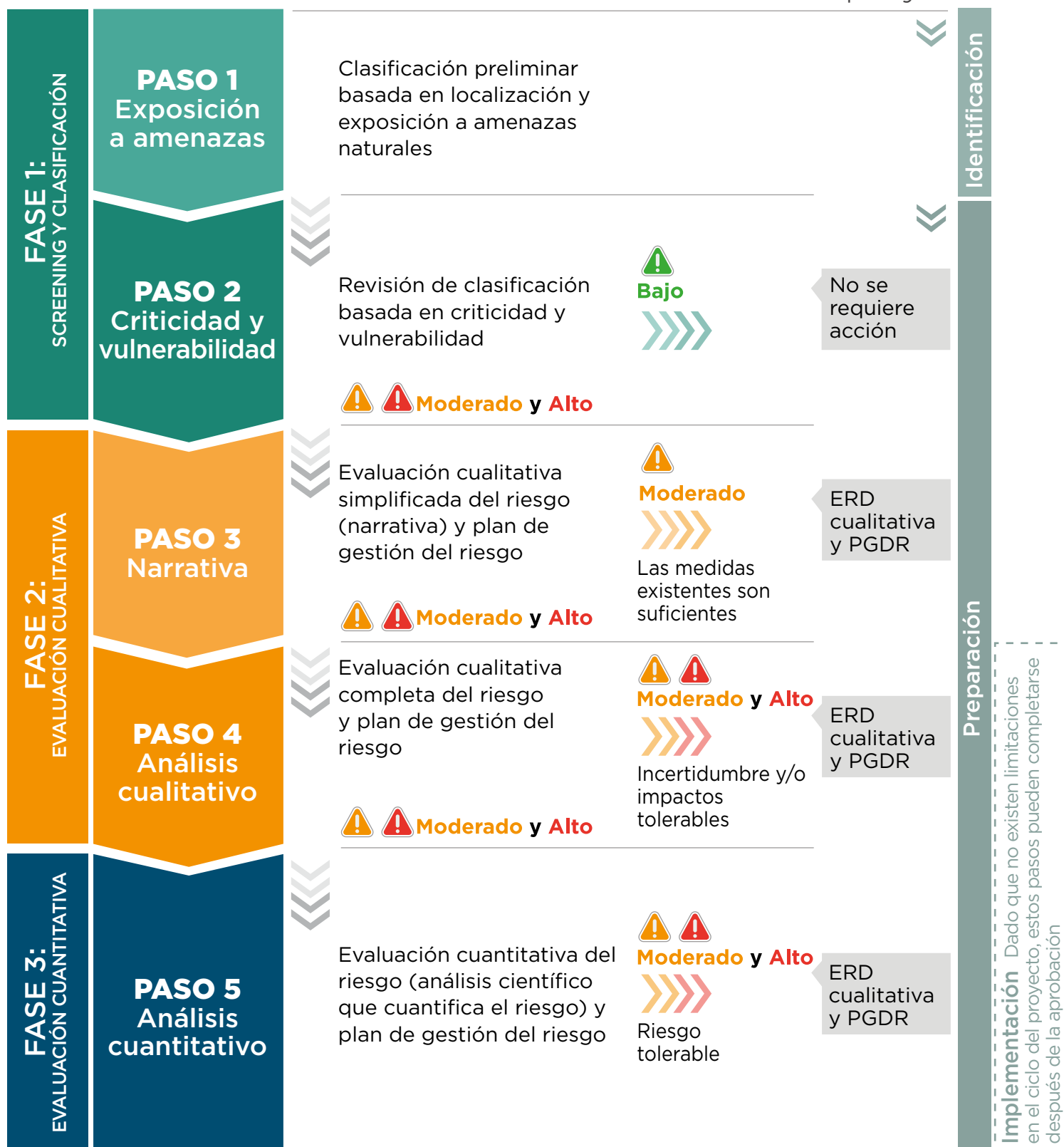
La Metodología propuesta incluye diversas fases y pasos donde los esfuerzos y los recursos guardan relación con los niveles de riesgo, tal como lo muestra la Figura 3.1:

¹⁰ El ciclo de proyecto del BID consta de cuatro etapas: Identificación, Preparación, Implementación y Cierre, incluyendo un hito de Aprobación entre las etapas de Preparación y Ejecución. Durante la etapa de Identificación el proyecto es identificado y se prepara el Perfil de Proyecto (PP); durante la etapa de Preparación se profundiza y continúa con el desarrollo del proyecto y se preparan la Propuesta de Desarrollo de la Operación (POD por sus siglas en inglés) y el Proyecto de Propuesta de Préstamo (DLP por sus siglas en inglés); durante la Aprobación la Propuesta de Préstamo (LP por sus siglas en inglés) es aprobada; durante la etapa de Implementación el proyecto es monitoreado y supervisado; y finalmente, durante la etapa de Cierre el proyecto es finalizado y se completa la evaluación del mismo.

Figura 3.1. Metodología de evaluación del riesgo de desastres y cambio climático

Metodología

Ciclo del proyecto



*Nota: Si la Evaluación se realiza después de la aprobación del Directorio, es posible que el contrato incluya una condición legal para su realización.

3.1.1 Fase 1: Screening y clasificación

La Fase 1 aplica a todos los proyectos del BID y consta de dos pasos:

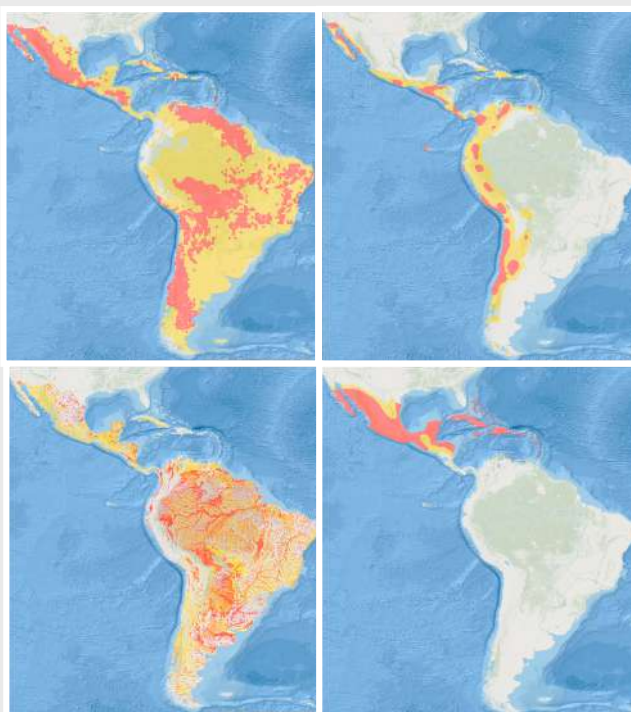
PASO 1: Clasificación preliminar con base en la ubicación y las amenazas.

El primer paso supone la utilización de la Herramienta de screening y clasificación actual¹¹ en el sistema central de gestión de operaciones del BID (Convergencia), véase Recuadro 3.1. Esta herramienta es utilizada por los especialistas del BID

para identificar si para un proyecto aplica la Política de Gestión del Riesgo de Desastres mediante la consideración de las posibles amenazas que podrían afectar al proyecto. La herramienta se basa en una serie de preguntas específicas para cada proyecto y está respaldada por una plataforma con un sistema de información geográfica (SIG) que permite a los especialistas completarla con precisión. El resultado es una clasificación inicial del riesgo de la operación. Esta clasificación está incluida en el Formulario de Screening de Salvaguardias (Safeguards Screening Form o SSF en inglés).

Recuadro 3.1. Herramienta de Screening y Clasificación

La herramienta de screening y clasificación proporciona automáticamente una clasificación inicial del riesgo de desastres y cambio climático de la operación, que puede ser riesgo bajo, moderado o alto, con base en las respuestas del cuestionario. El cuestionario, que está incluido en el sistema central de gestión de operaciones del BID, incluye un enlace hacia una plataforma con un SIG que contiene en total 21 mapas de amenazas como ayuda para contestar las preguntas sobre exposición a amenazas naturales. De los 21 mapas, 10 se relacionan con amenazas naturales sin considerar el cambio climático, incluidas amenazas geofísicas (**sismo, tsunami, deslizamiento de tierra, incendio, erupción volcánica, viento huracanado, marea de tormenta, inundaciones por desbordamiento de ríos, sequías y olas de calor**) y los restantes 11 se relacionan con amenazas hidrometeorológicas que consideran el cambio climático (**aumento del nivel del mar, sequía, escasez de agua, dos proyecciones de olas de calor y cinco proyecciones de precipitaciones, todas para fin de siglo**).



¹¹ El cuestionario sobre riesgo de desastres y cambio climático se incluyó en la Herramienta de screening y clasificación por primera vez en 2012.

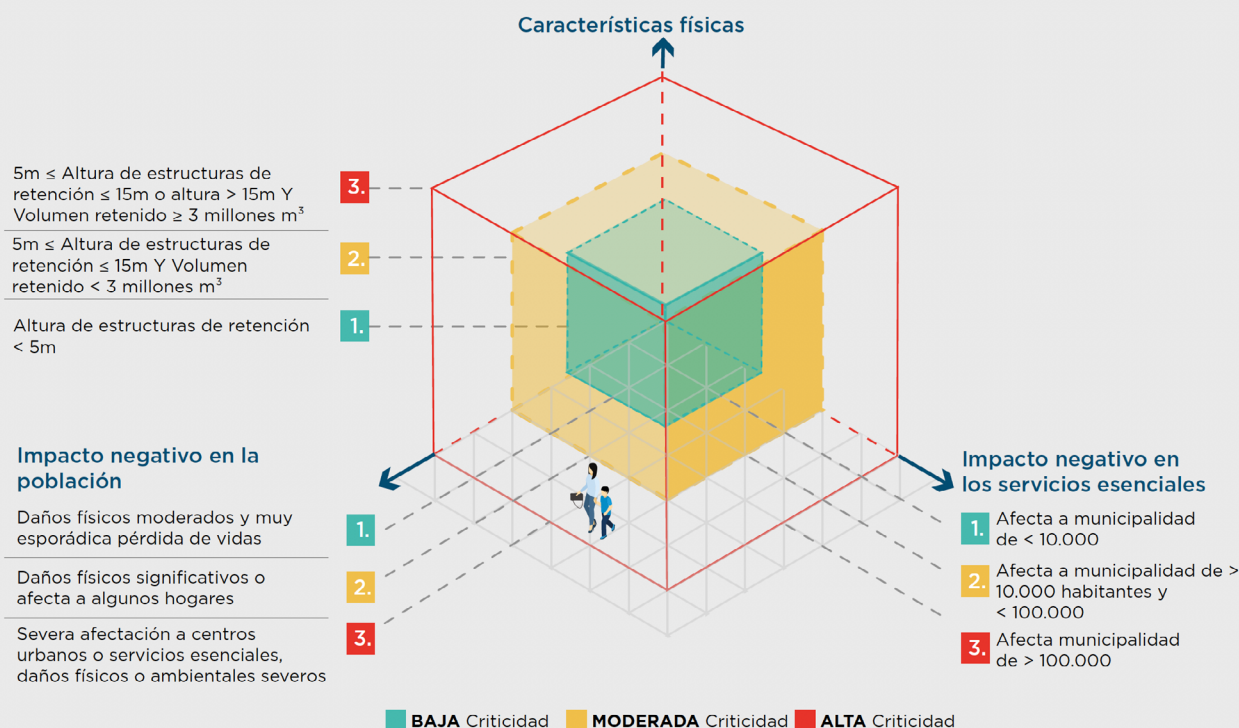
PASO 2: Revisión de la clasificación basada en criticidad y vulnerabilidad.

El segundo paso de la Metodología está diseñado para reflejar la criticidad y los niveles de vulnerabilidad propios del proyecto y complementar el resultado del paso anterior para obtener una clasificación de riesgo de desastres y cambio climático que sea representativa de la operación en sí y no simplemente de las amenazas. La vulnerabilidad se refiere a las cualidades inherentes que determinan la susceptibilidad de una estructura (o sistema) a sufrir daños. Criticidad se refiere al grado de importancia que tiene una estructura o un sistema en un contexto más am-

plio debido al tipo y a la escala de los servicios o la funcionalidad que ofrece. Ambos conceptos permiten un mejor entendimiento de las posibles consecuencias (impactos físicos en la estructura, en la población y en los servicios) que una falla de la operación podría generar debido a amenazas naturales (véase el Recuadro 3.2). El objetivo de este paso es ayudar a definir mejor el alcance de la operación, identificar características críticas del proyecto, complementar la clasificación inicial del riesgo de la operación con base en las amenazas y decidir (según la clasificación resultante) si es necesario realizar una evaluación adicional del riesgo.

Recuadro 3.2. Criticidad y vulnerabilidad del proyecto

Para facilitar el proceso de reconocimiento de las características que hacen a una estructura o a un sistema más o menos crítico y vulnerable, se incluyen preguntas orientativas generales sobre **características físicas, nivel del servicio provisto y magnitud de posibles efectos negativos sobre terceros**. Además, trabajando en conjunto con especialistas sectoriales, se desarrollaron tres gráficos específicos para distintos subsectores que ilustran este concepto para vías, sistemas de suministro de agua y saneamiento y represas hidroeléctricas. Estos gráficos reflejan los atributos más universales como también los técnicamente pertinentes de cada tipo de infraestructura que constituyen la principal preocupación para el sector correspondiente. El siguiente gráfico es el ejemplo desarrollado para el sector de agua, saneamiento y drenaje.



Como resultado de esta fase los proyectos se clasifican como de riesgo bajo, moderado o alto (si como resultado del Paso 2 surge una nueva clasificación, el formulario de screening de salvaguardias debe actualizarlo para reflejar dicha clasificación). Si la operación es clasificada como de bajo riesgo, puede abandonar el proceso en esta instancia; todas las demás deben pasar a la Fase 2.

3.1.2 Fase 2: Evaluación cualitativa del riesgo de desastres y cambio climático

La Fase 2 aplica a todos los proyectos del BID clasificados como de riesgo moderado o alto y consta de dos pasos. Ciertos proyectos clasificados como de riesgo moderado pueden saltarse el Paso 4 y los siguientes pasos si el Paso 3 reúne suficiente información.

PASO 3: Evaluación cualitativa simplificada del riesgo (narrativa del riesgo) y plan de gestión del riesgo.

El tercer paso se aplica a todos los proyectos con riesgo moderado y alto y supone recopilar todos los datos relevantes sobre estudios, documentos y consideraciones de diseño que ya existan para la operación, e información sobre la capacidad de adaptación del proyecto o de las comunidades. El objetivo es documentar cómo y en qué medida se tuvieron en cuenta cuestiones de gestión del riesgo de desastres y cambio climático (véase el Recuadro 3.3). Este paso también funciona como un primer filtro para identificar las operaciones de riesgo moderado que (junto con las de riesgo alto) deben pasar al siguiente paso y las que pueden abandonar el proceso en esta instancia debido a que demostraron de forma suficiente (con base en la narrativa) que las cuestiones relacionadas con riesgos fueron abordadas de forma adecuada.

Recuadro 3.3. Narrativa sobre el riesgo de desastres y cambio climático

Al recopilar datos y comenzar a evaluar qué consideraciones en materia de riesgo fueron incluidas en el diseño de una operación, es necesario que las preguntas se realicen a nivel del proyecto específico y que se adapten a sus circunstancias particulares. En general, deben abordar fenómenos ocurridos en el pasado, estudios existentes, si se evaluaron (o se planea evaluar) y de qué modo las amenazas, consideraciones sobre cambio climático y vulnerabilidades específicas y si hay deficiencias. A continuación se presenta un ejemplo de rehabilitación de una vía donde preliminarmente se identificaron como posibles amenazas aludes de lodo, terremotos y deslizamientos de tierra:

Estudios existentes

- ¿Existen estudios de riesgo realizados previamente para los activos existentes? (¿Se evaluaron los impactos de las amenazas en la operación y de la operación en las condiciones de riesgo del área?)

Evaluación de amenazas

- ¿Se estudió la meteorología, hidrología y el cambio climático local? ¿Cómo? (¿Existen datos de mediciones? ¿Se consultaron modelos de cambio climático globales/regionales? ¿Existe una normativa oficial para el uso de proyecciones climáticas?) ¿Se verificaron las proyecciones climáticas existentes?
- ¿Se realizó una caracterización de la geología y sismología local? ¿Cómo? (¿Se estudiaron las pendientes actuales? ¿La vía cruza fallas activas? ¿Existe un catálogo sísmico del área?)

Consideraciones de diseño

- ¿Se consideró el cambio climático en el diseño del pavimento de la vía? ¿Cómo?
- ¿Qué parámetros hidrológicos e hidráulicos se utilizaron para el diseño de los puentes, alcantarillas y drenajes longitudinales? (¿Métodos de análisis, periodos de retorno del diseño, análisis de frecuencia de inundaciones, cambio climático?)
- ¿Se estudiaron medidas de estabilización de taludes para la sección montañosa de la vía?
- ¿Qué norma de diseño sísmico se utilizó para el diseño del puente? (¿Existe un código de diseño local?)

Sistemas de respuesta

- ¿Existe un sistema de alerta temprana implementado en la ciudad o se planificó un sistema para aludes de lodo y lluvias?
- ¿Se desarrolló un plan de contingencia para asegurar la continuidad/recuperación rápida del servicio provisto? ¿Hay redundancia?

PASO 4: Evaluación cualitativa completa del riesgo y plan de gestión del riesgo.

El cuarto paso supone realizar una evaluación cualitativa completa del riesgo acompañada de un plan de gestión del riesgo de desastres para todos los proyectos de riesgo alto, como así también para los de riesgo moderado que lo requieren según se determinó en el paso anterior. Esto podría, por ejemplo, suponer la realización un análisis de modos de falla con expertos en el tema y en el sector para evaluar cualitativamente todas las formas en que un proyecto podría fallar como consecuencia de la ocurrencia de un fenómeno natural, las causas de la falla y las consecuencias tanto para la estructura como para el entorno y las comunida-

des aledañas (véase el Recuadro 3.4), incluida una estimación del orden de magnitud de los impactos que no ocurrirían si el proyecto no se realizase. Al realizar primero una evaluación cualitativa de todos los riesgos es posible determinar fácilmente si se requiere una evaluación cuantitativa detallada y, si la respuesta es afirmativa, la evaluación cuantitativa puede ser enfocada de forma adecuada para cubrir únicamente las partes específicas de la operación y los temas que realmente la requieren. Este paso incluye también un plan de gestión del riesgo de desastres y cambio climático para las características de la operación que se considera que no comprometen su viabilidad técnica y/o económica; las que sí pueden comprometer la viabilidad de la operación deben pasar a la Fase 3.

Recuadro 3.4. Evaluación cualitativa del riesgo de desastres y cambio climático

La evaluación cualitativa puede realizarse mediante un taller en el que trabajen expertos en riesgo de desastres y cambio climático con personal técnico de las firmas a cargo del diseño o de la construcción y la agencia ejecutora de la operación para **analizar y dimensionar todos los riesgos posibles, factores agravantes, posibles consecuencias y medidas de intervención**. Existen otras técnicas cualitativas, como la utilización formal del método Delphi para consultar la opinión de expertos (método para llegar a un consenso a través de la realización de encuestas o entrevistas con un panel selecto de expertos – ver Hallowell y Gambatese, 2010 y Garson, 2012) o la utilización de matrices de riesgo que califican los riesgos en base a estimaciones cualitativas de la frecuencia y magnitud de los impactos. En todos los casos es necesario involucrar a profesionales y técnicos locales para garantizar el aprovechamiento del conocimiento local. Las siguientes figuras muestran un ejemplo de un modo de falla esquemático de una vía identificado mediante un taller llevado a cabo con este propósito, y su materialización real.



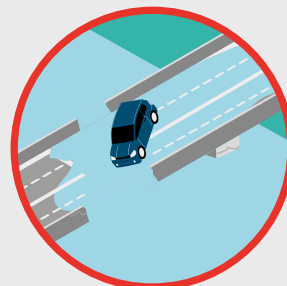
1 Avenidas



2 La capacidad hidráulica es superada



3 Erosión de márgenes y apoyos



4 La estructura es arrasada



3.1.3 Fase 3: Evaluación cuantitativa del riesgo de desastres y cambio climático

La Fase 3 aplica a todas las características específicas de una operación que requieren una evaluación cuantitativa conforme a los resultados de PASO 4.

PASO 5: Evaluación cualitativa completa del riesgo y plan de gestión del riesgo.

El quinto paso supone la realización de una evaluación cuantitativa del riesgo, acompañada de un plan de gestión del riesgo de desastres y cambio climático (PGRD) para las operaciones de riesgo alto o moderado que lo requieren, según se determinó en los pasos anteriores. Esto implica modelar cuantitativamente los aspectos (que pueden estar vinculados con atributos físicos específicos, estructuras, modos de falla o amenazas) que se determinó que requieren mayor investigación, e implica evaluar científicamente la vulnerabilidad, la amenaza y el riesgo para esos aspectos seleccionados de la estructura en sí, del entorno y de las comunidades aledañas, incluida una estimación de los impactos que no ocurrirían si el proyecto no existiese. También se debe realizar una evaluación de tolerabilidad al riesgo y de viabilidad técnica y económica para asegurar el cumplimiento con la política del Banco (no aumentar el riesgo con respecto a la situación actual y cumplir con las mejores normas de tolerabilidad de cada subsector). La Metodología ofrece diversos métodos, técnicas y modelos para calcular el riesgo, tanto de estructuras individuales como de sistemas, según los tipos de amenaza, la estructura y el nivel de detalle requerido.

Además de lo anterior, para los sistemas con una incertidumbre significativa están cobrando creciente relevancia ciertos métodos innovadores como la metodología de Decisiones Robustas (*Robust Decision Making* o RDM, por sus siglas en inglés). Este método difiere de los análisis estándar de costo-beneficio que buscan predecir costos y beneficios de un conjunto de proyectos o diseños de proyecto iniciales para luego selec-

cionar la opción óptima, todo ello supeditado a una caracterización exhaustiva de las incertidumbres. Por el contrario, la metodología de RDM utiliza primero modelos de simulación para realizar un stress test sobre una o varias acciones seleccionadas (políticas y/o inversiones) según una amplia gama de futuros plausibles (Groves y Lempert, 2007; Lempert y otros, 2003, 2006) evaluando el desempeño conforme a una lista de numerosos criterios de medición del éxito. Se lo ha utilizado ampliamente en el sector del agua en la última década.

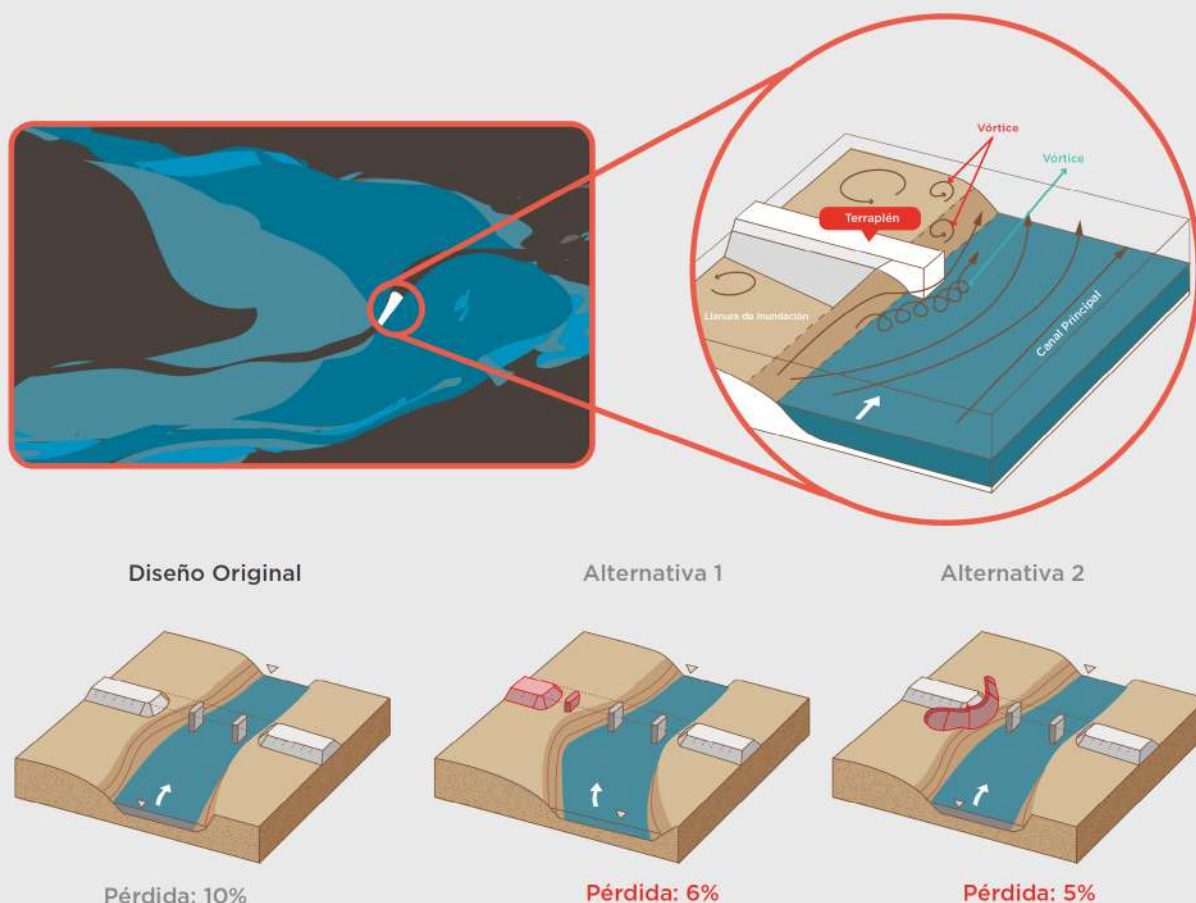
El PGRD deberá ser desarrollado con base en los resultados de la evaluación cuantitativa del riesgo. Éste podría incluir diferentes tipos de medidas y recomendaciones i) sobre el diseño: medidas grises (soluciones estructurales o de ingeniería), como la construcción de lagunas de retención, muros de retención u otros, o medidas verdes (adaptación basada en el ecosistema); ii) sobre la construcción: plan de respuesta de emergencia durante los trabajos de construcción; y iii) sobre la operación: medidas relacionadas con cambios en procesos y procedimientos para la operación y el mantenimiento de un proyecto (por ejemplo, ajustar la frecuencia de limpieza de un canal de drenaje para garantizar su máxima capacidad), planes de continuidad del negocio y/o de contingencia, sistemas de alerta temprana, esquemas de protección financiera (incluidos los seguros); o bien podría ser una combinación híbrida de los aspectos anteriores. Las medidas establecidas en el PGRD deben incluir un indicador de costo-beneficio, como así también el nivel de prioridad.

Recuadro 3.5. Evaluación cuantitativa del riesgo de desastres y cambio climático

La evaluación cuantitativa del riesgo es **un modelo matemático y/o físico** utilizado para **cuantificar el riesgo** en términos económicos (**pérdidas económicas esperadas**) y humanos (**número de afectados, heridos y muertos**).

Los métodos de evaluación de riesgo van desde métodos deterministas (que utilizan eventos individuales y sin considerar incertidumbres), a métodos totalmente probabilistas (en los que el modelado se realiza siguiendo de manera estricta la teoría de probabilidad para obtener el rango completo de posibles pérdidas)^a. Las opciones intermedias incluyen métodos deterministas donde se modelan uno o más escenarios discretos de amenaza (simulados o bien recreados históricamente, por ejemplo, escenarios de diseño o del caso más pesimista) y se calcula la vulnerabilidad y las pérdidas previstas para esos escenarios.

Las siguientes figuras muestran un ejemplo hipotético de un modelo y un cálculo de riesgo (incluida la modelación de la amenaza y de la vulnerabilidad) y la correspondiente evaluación cuantitativa de las medidas propuestas para reducir el riesgo.



Fuente: Modificado de Barkdoll et al. (2007)

^a Nótese que una evaluación de exposición (donde falta el componente de vulnerabilidad) NO es una evaluación de riesgo. Sin embargo, en ocasiones se la utiliza como una evaluación indicativa o como paso intermedio en la evaluación de riesgo. En este tipo de evaluaciones únicamente se calcula la cantidad de personas y activos expuestos a una amenaza.

3.2 Uso de la Metodología

La Metodología se aplica principalmente a proyectos en fase de preparación en diversos sectores financiados por el BID. Se la puede utilizar para ayudar a los equipos de proyecto en el cumplimiento con la Política de Gestión del Riesgo de

Desastres, para apoyar la transversalización de iniciativas en materia de resiliencia y como una buena práctica por parte de los equipos de proyectos.

El propósito de la Metodología es, en primer lugar, servir como un marco conceptual robusto que fusione una lógica tanto técnica como operativa y,

en segundo lugar, ser un recurso que los especialistas puedan utilizar cada vez que trabajen en una operación donde el tema del riesgo de desastres y cambio climático sea importante. La Metodología permite evaluar el riesgo desde una perspectiva tanto de salvaguardias (dado que los proyectos deben cumplir con la política) como de resiliencia (buscando mejorar los proyectos y lograr sostenibilidad). Además de complementar la Política y sus Directrices, la Metodología también brinda una oportunidad de incorporar consideraciones sobre resiliencia y riesgo de desastres y cambio climático en las fases de diseño e implementación del proyecto, contribuyendo así al desarrollo de infraestructura sostenible.

La identificación temprana es esencial para que los equipos a cargo de proyectos puedan incorporar consideraciones sobre riesgo de desastres y cambio climático y oportunidades en materia de resiliencia en el diseño del proyecto. Además, es necesario garantizar la coordinación entre los integrantes del equipo del proyecto, las agencias

ejecutoras, las firmas de diseño/empresas constructoras y los expertos en riesgo de desastres y cambio climático para poder identificar estos riesgos desde el principio y al momento de realizar la ERD. Esta coordinación también ayuda a determinar qué valor agregado puede realmente brindar al proyecto la ERD (y el modo en que lo hará), sin duplicar análisis que puedan ya estar incorporados a los estándares y códigos de diseño, enfocando la ERD hacia aquellas áreas en las que la ingeniería tradicional aún no ha avanzado. Al incorporar consideraciones sobre cambio climático en la ERD, es imperativo comunicar que el cambio climático tiene el potencial de cambiar los perfiles de la amenaza y del riesgo. Debido a que la estacionalidad podría no ser una base adecuada sobre la que apoyarse al diseñar estándares y códigos, podría resultar necesario rever de forma periódica los cambios en las condiciones para identificar nuevos tipos de amenazas o nuevos rangos en la magnitud de las amenazas conocidas y evaluar la posibilidad de efectos en cascada.


Recuadro 3.6. Nota sobre la incorporación del riesgo de desastres y cambio climático en análisis de viabilidad económica

El proceso de formulación de proyectos del BID requiere realizar un análisis costo-beneficio como un análisis económico ex-ante (realizado de manera temprana durante la preparación del proyecto) para evaluar la viabilidad económica^a del proyecto. El Apéndice H: Incorporación del Riesgo de Desastres y Cambio Climático en Análisis de Viabilidad Económica presenta una propuesta para incorporar la dimensión del riesgo de desastres y cambio climático en los análisis de costo-beneficio de un proyecto. **Este apéndice no es un paso formal de la Metodología** y no debe ser confundido con otros análisis económicos a realizar como parte de la Metodología.

El Apéndice H presenta una aproximación preliminar a este tema con el objetivo de iniciar una discusión con los economistas de proyecto y los equipos de proyecto al respecto. El método se basa en evaluar los efectos que un escenario pesimista (*worst-case*) podría tener sobre los flujos económicos esperados (en el costo-beneficio), y la sensibilidad del valor presente neto y la tasa interna de retorno frente a la ocurrencia de un desastre cuando no se dispone de información o modelaciones del riesgo detalladas. No obstante la simplicidad del método, este apéndice provee lineamientos iniciales para pensar en las formas en las que el riesgo de desastres y cambio climático puede influir el análisis de viabilidad económica de un proyecto. La información proveniente de análisis detallados como los realizados con la aplicación de esta Metodología puede ser usada para enriquecer los escenarios propuestos por este apéndice, brindando así información adicional a los tomadores de decisión sobre el riesgo de desastres y cambio climático enfrentado por el proyecto en términos de los beneficios esperados. Si durante la preparación de un proyecto es posible obtener resultados de un análisis cuantitativo de riesgo al momento de realizar el análisis económico ex-ante, estos resultados pueden ser usados directamente en los flujos económicos (ver la sección 6.1.6.) en lugar de aplicar las consideraciones y supuestos descritos en el Apéndice H. En un mundo donde las pérdidas asociadas a los desastres y al cambio climático pueden amenazar el desarrollo y donde el análisis costo-beneficio de un proyecto es una de las herramientas más importantes y usadas para la toma de decisiones de la inversión pública, el riesgo de desastres y cambio climático debe ser parte de esta discusión.

Fuente: Eduardo Zegarra, GRADE, consultor económico.

^a La factibilidad financiera comprende la disponibilidad de mecanismos financieros, líneas de crédito contingente y la capacidad general de generar suficientes ingresos para satisfacer los compromisos de deuda y pagos operativos, mientras que la factibilidad económica es un concepto más amplio que refleja el hecho de que los beneficios esperados de un proyecto exceden sus costos estimados, y permite el uso de precios sociales y otros ajustes de valor para reflejar externalidades positivas y negativas.

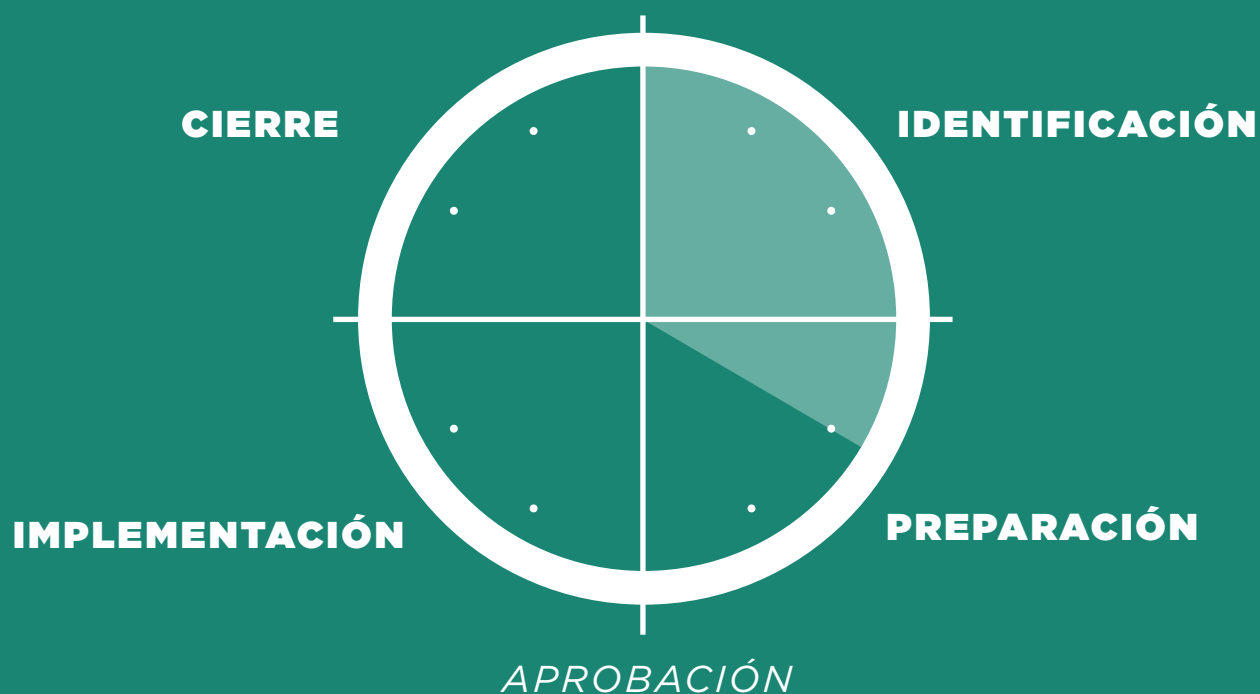


4.

Fase I: Screening y clasificación

.....

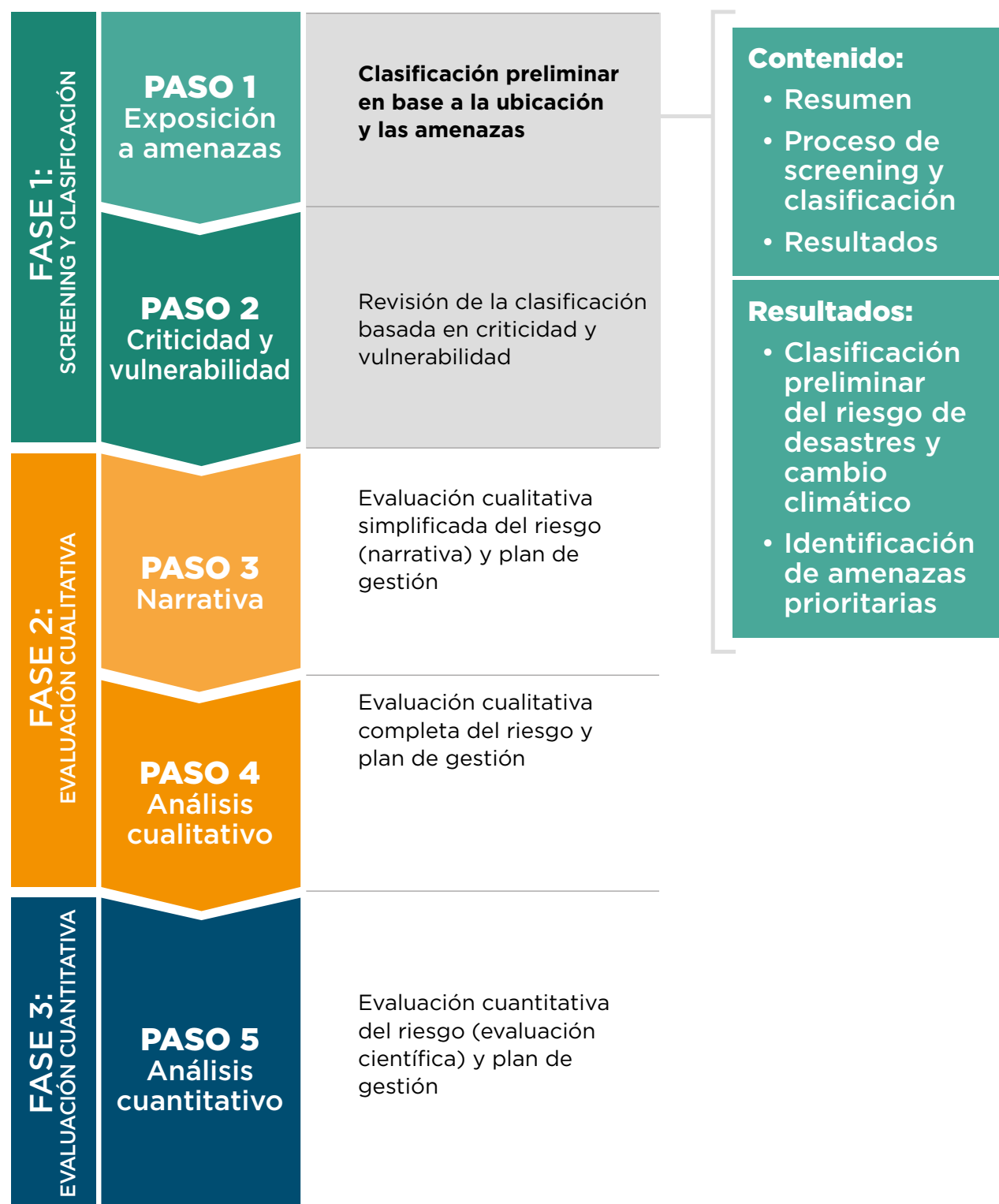
Esta fase se debe realizar lo más temprano posible durante el ciclo del proyecto, a más tardar al momento de elaborar el Perfil del Proyecto, cuando existe una definición mínima de la operación y hay posibilidad de realizar un screening general de amenazas, criticidad y vulnerabilidad. En general, esto ocurre durante la etapa de identificación, cuando se establece la ubicación, el alcance y las características específicas del proyecto.



4. Fase I: Screening y clasificación

4.1. Paso 1 - Clasificación preliminar según la ubicación y las amenazas

Figura 4.1. Paso 1



4.1.1 Resumen

El objetivo del Paso 1 es utilizar la Herramienta de Screening y Clasificación creada por la Unidad de Salvaguardias Ambientales y Sociales (ESG) del BID e interpretar sus resultados. La Herramienta es utilizada por los especialistas del BID para determinar si un proyecto requiere aplicar la Política de Gestión de Riesgo de Desastres, que es una de varias políticas incluidas en el proceso de Filtro de la Política de Salvaguardias del BID, y asignar a cada proyecto una clasificación inicial de riesgo de desastres y cambio climático.

La Política de Gestión del Riesgo de Desastres les exige a los equipos de proyecto que identifiquen si sus proyectos “entrañan una alta exposición a amenazas naturales o presentan un elevado potencial de agravación del riesgo”, lo cual se realiza mediante un proceso de screening y clasificación social y ambiental del proyecto. La ESG desarrolló la Herramienta para ayudar al personal del BID en el screening de riesgos ambientales y sociales con relación a las políticas de salvaguardias, incluido el riesgo de desastres y cambio climático.

Es importante tener en cuenta que la Herramienta se basa principalmente en determinar la exposición a amenazas naturales, y es por eso que este paso brinda una clasificación únicamente preliminar del riesgo de desastres y cambio climático. Por lo tanto, para corregir esto y obtener una clasificación integral del riesgo, el Paso 2 (que se enfoca en la criticidad y vulnerabilidad del proyecto) debe utilizarse como complemento del Paso 1 para corregir y finalizar esta clasificación.

Este primer paso de la Metodología está diseñado como un enfoque descendente (*top-down*) donde se utilizan datos y mapas de escala gruesa para obtener una mirada rápida y preliminar de las condiciones contextuales del entorno más amplio de la operación. Este enfoque descendente es considerado apropiado para este paso y su objetivo es poder identificar grandes inquietudes de manera temprana en el proceso de evaluación de riesgo. No se supone en absoluto que

sea el final del análisis del riesgo de desastres y cambio climático; por el contrario, constituye el punto de partida para una evaluación detallada de estos riesgos en cada operación.

4.1.2 Proceso de screening y clasificación

Herramienta de screening y clasificación

Como ya se mencionó, la ESG desarrolló una Herramienta de screening y clasificación alojada en el sistema central de gestión de operaciones del BID (Convergence) que pueden utilizar los equipos de proyecto y los especialistas de la unidad de ESG para realizar el screening de riesgo de sus proyectos y generar un Reporte de Filtro de la Política de Salvaguardias y un Formulario de Screening de Salvaguardias, los cuales son parte del paquete del Perfil del Proyecto. El Filtro de la Política de Salvaguardias identifica las políticas del Banco que deben aplicarse al proyecto, mientras que el Formulario de Screening de Salvaguardias describe con mayor detalle los hallazgos de cada una de esas políticas e informa la Categoría Ambiental y Social, así como la Clasificación de Riesgo de Desastres preliminar asignada al proyecto.

La herramienta consiste en un cuestionario en el que la sección de riesgo de desastres y cambio climático está dividida en tres subsecciones, del siguiente modo:

- i. Un primer conjunto de preguntas sobre la exposición de la operación a desastres naturales y su vulnerabilidad, su potencial para exacerbar los riesgos existentes y la inclusión de actividades relacionadas con adaptación al cambio climático. Estas preguntas tienen como objetivo determinar si la Política de Riesgo de Desastres debe aplicarse y si se necesita apoyo especial por parte de la División de Cambio Climático.
- ii. Un segundo conjunto de preguntas indaga sobre las amenazas específicas a las que la operación está expuesta; y

- iii. Un tercer conjunto de preguntas indaga sobre los niveles estimados de impactos procedentes de las amenazas seleccionadas para la operación y la posibilidad de que la operación los exacerbe.

El segundo y el tercer conjunto de preguntas tienen como objetivo brindar una clasificación inicial del riesgo de desastres y cambio climático, que puede ser bajo, moderado o alto.

Para ayudar a los especialistas a contestar estas preguntas, se desarrolló una plataforma de mapas basada en un SIG que incluye numerosas amenazas naturales. La analizaremos a continuación. Si bien la plataforma de mapas es un recurso útil y de fácil utilización, la herramienta está diseñada para que los especialistas utilicen el mejor juicio profesional junto con otras líneas de evidencia para determinar la magnitud de los posibles impactos sobre los proyectos.

Plataforma de mapas

Esta plataforma permite a los especialistas visualizar diferentes capas relacionadas con amenazas naturales y cambio climático para la ubicación geográfica de su proyecto e identificar áreas que puedan estar expuestas a niveles de amenaza Altos o Moderados. Es importante reconocer que las capas del SIG fueron desarrolladas utilizando datos y modelos globales con una resolución bastante gruesa. Por lo tanto, se las debe considerar como una ayuda para realizar un screening inicial y entender mejor cuáles son las ubicaciones geográficas que pueden estar más expuestas a amenazas y no se las debe tomar como una indicación exclusiva del riesgo del proyecto específico.

La aplicación del mapa incluye un total de 21 capas que cubren amenazas tanto geofísicas como hidrometeorológicas. Diez capas son mapas de amenazas estacionarias, es decir, amenazas evaluadas sin incorporar el cambio climático, y las otras once capas son mapas de amenazas que sí consideran la no estacionariedad de las amenazas, es decir, que incorporan el cambio climático. El Recuadro 4.1 muestra una imagen de la plata-

forma de mapas. Para conocer más detalles sobre cada capa de amenaza (lo que se muestra para cada amenaza, cuáles son los métodos y recursos utilizados y cómo leer e interpretar las capas de cambio climático), consulta el Apéndice C.

Más específicamente, las 10 capas estacionarias abarcan:

- Amenaza sísmica
- Amenaza volcánica
- Amenaza por deslizamiento de tierra
- Amenaza por viento huracanado
- Amenaza por marea de tormenta de huracán
- Amenaza por tsunami
- Amenaza por sequía
- Amenaza por ola de calor
- Amenaza de inundaciones fluviales
- Amenaza por incendio

Las 11 capas no estacionarias abarcan:

- Amenaza de sequía
- Amenaza por ola de calor bajo el RCP 4.5 y RCP 8.5
- Amenaza de inundaciones fluviales
- Amenaza por aumento del nivel del mar
- Amenaza por escasez de agua
- Cambios en las precipitaciones bajo cinco MCG diferentes

Todas las capas que incluyen cambio climático muestran las condiciones proyectadas para fin de siglo (año 2100). Estas capas de cambio climático intentan identificar indicadores robustos acerca de qué cambios (en términos generales) podría traer el clima futuro, más allá de las amenazas ya existentes. Este proceso se suele realizar, en primer lugar, investigando en qué dirección se espera que ocurra el cambio y, en segundo lugar, determinando si los diferentes modelos de proyección concuerdan en el signo y la magnitud. Las señales más fuertes y claras de cambio pueden hallarse cuando el forzamiento (*forcing*) es grande y cuando el sistema ha tenido tiempo suficiente para responder a las condiciones de contorno alteradas. Por lo tanto, la utilización del RCP más pesimista, es decir, el RCP 8.5, y el horizonte temporal más extenso, es decir, las

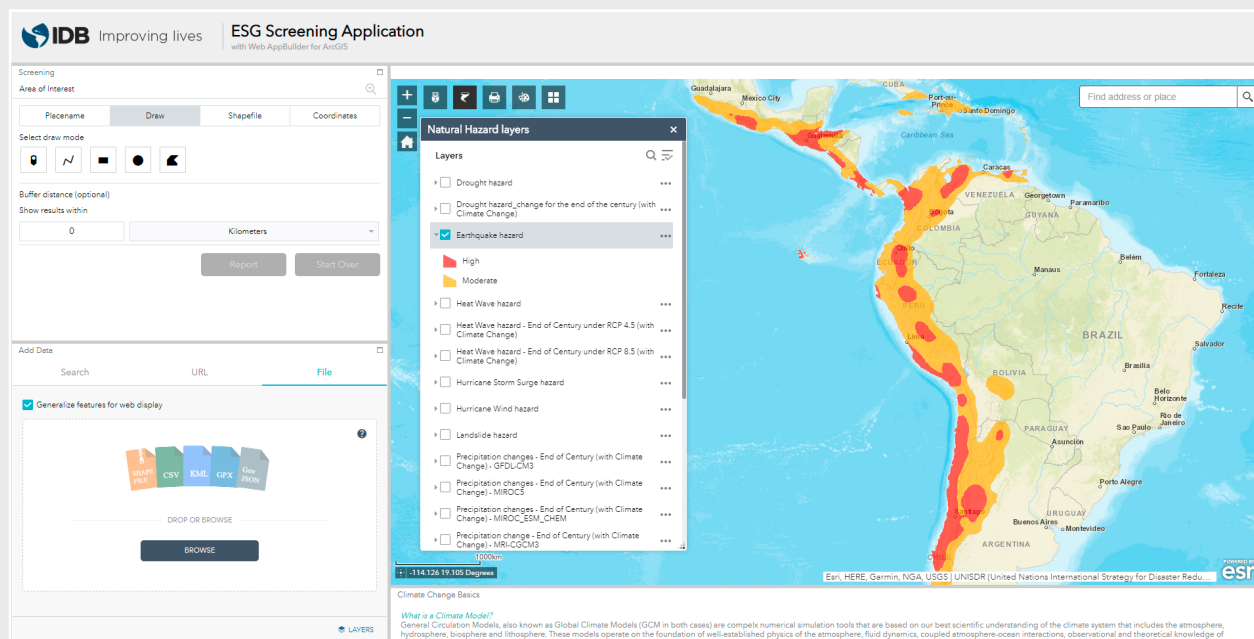
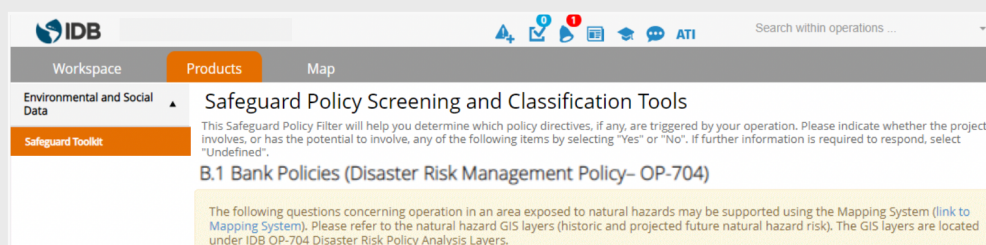
últimas décadas del siglo XXI, ayuda a optimizar la señal (alta relación señal/ruido). Es importante tener en cuenta que se utiliza el RCP más pesimista y el horizonte temporal más extenso únicamente para efectos del screening, precisamente porque un screening no es una evaluación de riesgo de desastres y cambio climático y su objetivo es simplemente brindar una primera señal de alerta en términos amplios. Por lo tanto, esto no se aplica necesariamente a las evaluaciones de proyectos específicos donde la selección depende del tipo de infraestructura en cuestión, su alcance temporal, estándares del sector específico, tolerancia y

aversión al riesgo de las partes interesadas y otras decisiones del proyecto específico. Los Pasos 3, 4 y 5 brindan mayor orientación al respecto, dependiendo del tipo de evaluación de riesgo a realizar y los diferentes tipos de análisis disponibles.

El Recuadro 4.2 presenta algunas consideraciones clave sobre cambio climático para tener en cuenta al momento de utilizar proyecciones climáticas en general, pero más específicamente al seleccionar las variables climáticas, los escenarios y los modelos más adecuados para el screening a fin de obtener una señal robusta.

Recuadro 4.1. Herramienta de apoyo: mapas de amenazas

Las capas abarcan un rango de fuentes y niveles de resolución que responden a la diversa naturaleza de cada amenaza y a los métodos utilizados para modelarlas. Para las amenazas que tienen métodos de modelación probabilista estándar o establecidos, como la amenaza sísmica, por tsunamis, viento huracanado estacionario, marea de tormenta o inundación, se utilizaron directamente las capas probabilistas de la amenaza del Informe de Evaluación Global (GAR15, por sus siglas en inglés) (UNISDR, 2015). Para las amenazas que no tienen una representación probabilista pero que han sido cuantificadas por el GAR utilizando índices, como la amenaza volcánica, por deslizamiento de tierra y por incendio, se utilizaron las capas del índice de la amenaza del GAR 2009 (UNISDR, 2009). Para amenazas más complejas, como inundación y ola de calor, se utilizaron enfoques de modelación específicos propuestos en diversos documentos científicos. Por último, y para todas las capas de proyección de cambio climático, se utilizaron enfoques para amenazas específicas para modificar las capas estacionarias e incorporar el cambio climático y obtener capas de las amenazas no estacionarias. Véase el Apéndice C para conocer más detalles sobre cómo interpretar las capas con cambio climático.



Recuadro 4.2. Consejos sobre la utilización de proyecciones de cambio climático para screening

A efectos del screening es suficiente utilizar datos de alto nivel y, debido a que el objetivo es identificar la señal del cambio climático, no es necesario enfocarse demasiado en valores específicos de proyecciones de cambio climático; sólo deben utilizarse tendencias generales. Con esto en mente, la dirección del cambio en la temperatura suele ser muy clara (calentamiento) e incluso las diferencias espaciales son bastante pequeñas. En el caso de las precipitaciones, no obstante, las diferencias entre modelos suelen ser mayores y los campos de respuesta a nivel de punto en la grilla suelen tener mucho más ruido. Por lo tanto, en este caso es importante evaluar los patrones de gran escala y verificar si los campos de cambio exhiben estructuras amplias dinámicamente relacionadas o si las proyecciones están dominadas por ruido a nivel de puntos en la grilla y variabilidad natural.

Una vez analizadas las medias, también resulta interesante observar los extremos de la distribución (condiciones más extremas) de las características climáticas diarias o mensuales, por ejemplo, ver las mayores intensidades de precipitación. Además, al consultar proyecciones generadas por modelos, resulta útil considerar grandes conjuntos de resultados de modelos (ensembles) ya que los modelos individuales pueden presentar diversos tipos de sesgos. Un conjunto multimodelo de 10 o más modelos tiende a ser bastante robusto.

Por último, con respecto al horizonte temporal y al RCP, puede adoptarse un enfoque “pesimista” (para fin de siglo y RCP 8.5) solo para permitir explicar las tendencias y señales de cambio.

Nótese que estas consideraciones no necesariamente rigen para una evaluación de riesgo de desastres y cambio climático; el Paso 5 presenta información detallada sobre consideraciones especiales para una evaluación de riesgo a nivel de proyecto.

4.1.3 Resultados

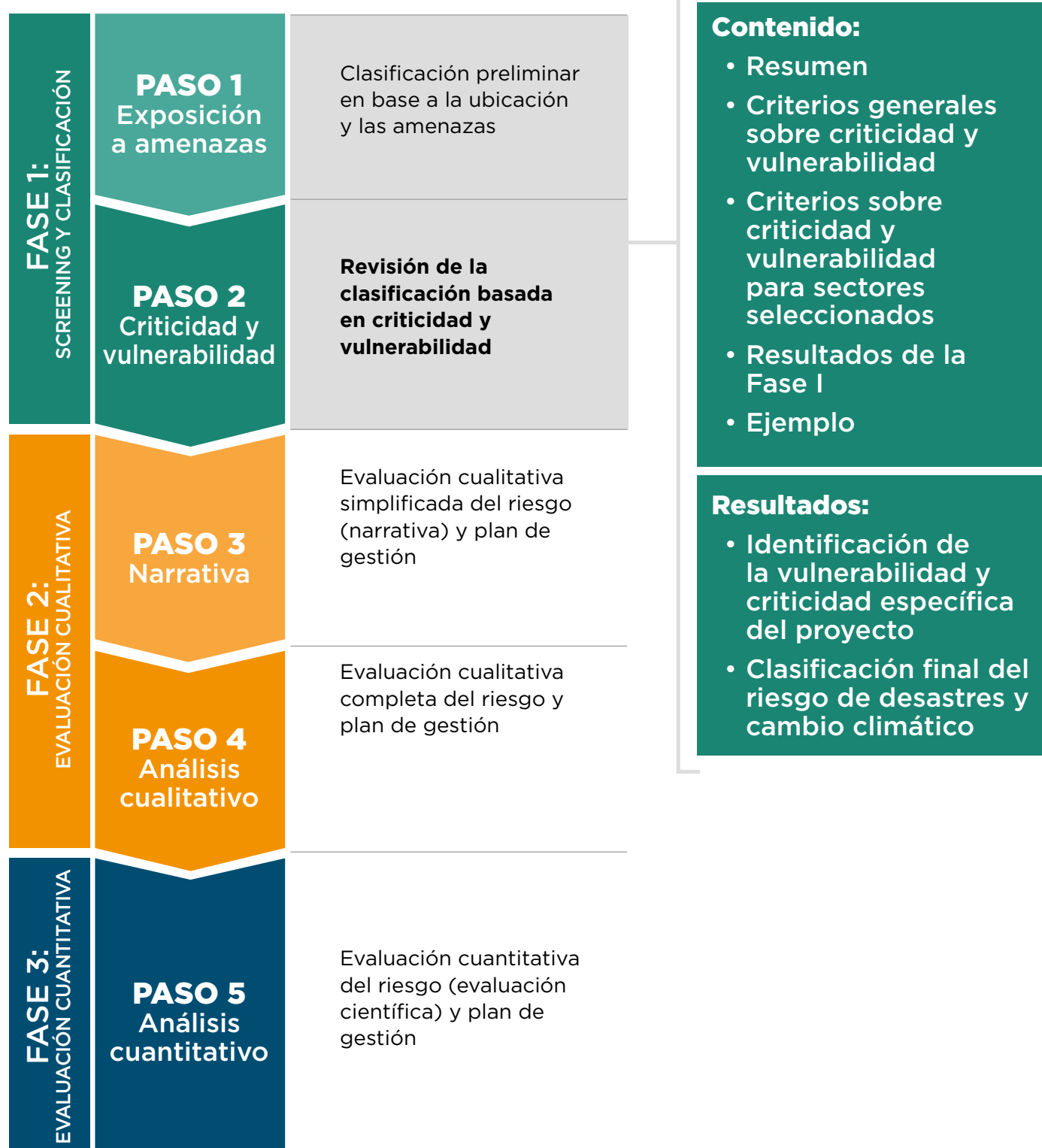
Con base en la información provista para contestar las preguntas, la Herramienta asigna una calificación inicial y preliminar del riesgo de desastres y cambio climático, que puede ser riesgo Bajo, Moderado o Alto (además de una Categoría Ambiental A, B o C). Luego, a través del Formulario de Screening de Salvaguardias, la Herramienta proporciona orientación general con base en el

texto de la Política de Gestión del Riesgo de Desastres sobre los pasos que se deben seguir de acuerdo a la calificación correspondiente.

Todos los proyectos deben avanzar hacia el Paso 2 de la Metodología, en el que esta clasificación inicial se analiza con mayor profundidad y se la complementa con una perspectiva sobre la vulnerabilidad y criticidad de cada proyecto individual.

4.2 Paso 2 - Revisión de la clasificación con base en la criticidad y vulnerabilidad

Figura 4.2. Paso 2



4.2.1 Resumen

El segundo paso está diseñado para reflexionar sobre la criticidad y los niveles de vulnerabilidad propios del proyecto y complementar el resultado del paso anterior para obtener una clasificación de riesgo de desastres y cambio climático que sea representativa de la operación en sí y no simplemente de las amenazas. El objetivo de este segundo paso es entender mejor las características del proyecto y determinar su vulnerabilidad frente a las amenazas naturales y la criticidad de interrumpir o cancelar los servicios o, en términos más amplios, los beneficios brindados por el proyecto en respuesta a los daños que puedan resultar de estas amenazas. Este paso está diseñado como un enfoque ascendente (*bottom-up*) donde el objetivo es realizar una evaluación a nivel del proyecto acerca de la respuesta y la vulnerabilidad estimadas propias de la infraestructura.

Entender las características específicas del proyecto (incluido su tamaño, estructura física, funcionalidad, vida útil y tipología) y su respuesta frente a las amenazas naturales identificadas previamente en el Paso 1, suma un segundo nivel de razonamiento para informar la clasificación de desastre y cambio climático. Esto te ayudará a identificar atributos críticos del proyecto y entender el modo en que las amenazas de interés pueden impactar al proyecto en sí, como también a la comunidad aledaña, al medio ambiente y a su sostenibilidad. La importancia de complementar la información sobre amenazas y cambio climático (CC) con datos sobre vulnerabilidad y criticidad del proyecto se hizo evidente luego de analizar evaluaciones de riesgo de desastres y cambio climático o estudios equivalentes realizados para proyectos desde 2014 hasta 2017.

Recuadro 4.3. Vulnerabilidad y criticidad

Criticidad se refiere al grado de importancia que tiene una estructura o un sistema en un contexto más amplio debido al tipo y a la escala de los servicios o de la funcionalidad que ofrece. **Vulnerabilidad** se refiere a las cualidades inherentes que determinan la susceptibilidad de una estructura (o sistema) de sufrir daños. Resume la vulnerabilidad del proyecto frente a una amenaza. Ambos conceptos permiten un mejor entendimiento de las posibles consecuencias (impactos físicos en la estructura, en la población y en los servicios) que podría tener una falla de la operación como resultado de un evento debido a amenazas naturales. Ambos conceptos deben definirse con especialistas del sector correspondiente.

El principal resultado de esta fase es una clasificación del riesgo de desastres y cambio climático del proyecto. Esta clasificación tiene tres valores posibles: Bajo, Moderado o Alto. Para establecer una clasificación, es necesario aplicar el mejor juicio profesional para considerar y ponderar aspectos acerca de la exposición del proyecto a amenazas naturales, la intensidad de las amenazas (Paso 1) y la criticidad del proyecto (Paso 2) a fin de lograr una valoración completa de las condiciones de riesgo. Si como resultado del Paso 2 surge una nueva clasificación, el formulario de screening de salvaguardias debe actualizarse de manera acorde. Si la operación es clasificada como de bajo riesgo, puede abandonar el proceso en esta instancia; todas las demás deben pasar a la Fase 2.

Las siguientes secciones presentan ejemplos de cómo facilitar el proceso de reconocimiento de las características que hacen a una estructura o a un sistema más o menos crítico y vulnerable, e incluyen preguntas orientativas generales sobre características físicas, nivel del servicio provisto y magnitud de posibles efectos negativos sobre terceros. Tres gráficos para subsectores específicos desarrollados en colaboración con especialistas sectoriales ilustran este concepto para el caso de vías, infraestructura de suministro de agua, saneamiento y drenaje y represas hidroeléctricas. Dichos gráficos reflejan los atributos más universales y también los técnicamente pertinentes de cada tipo de infraestructura, que constituyen la principal preocupación para el sector correspondiente.

4.2.2 Criterios generales sobre criticidad y vulnerabilidad

Esta sección presentará, en primer lugar, preguntas que pueden resultar útiles para determinar la criticidad y vulnerabilidad de cualquier proyecto con un componente de infraestructura, trátase de un proyecto exclusivo de infraestructura, como una represa hidroeléctrica, o una operación más amplia que incluye componentes de infraestructura, como el financiamiento de un programa para escuelas que incluya, entre otras cosas, edificios para escuelas. Estas preguntas sirven de guía para entender mejor las características clave y el alcance del proyecto y ayudan a evaluar los impactos potenciales.

En general, al inicio del proceso de evaluación del proyecto se conocen pocos detalles sobre el mismo. Debido a este déficit de información, el Paso 2 formula preguntas básicas sobre el proyecto que ayudan a entender su alcance, como preguntas sobre características físicas básicas (por ejemplo, en el caso de una vía, si incluirá puentes), posible interacción con la población y el medio ambiente (por ejemplo, en el caso de una represa, si hay una población cerca que podría verse afectada si la represa falla), potenciales impactos en caso de pérdida del servicio (por ejemplo, si un proyecto de suministro de agua falla, cuántas personas podrían quedar sin suministro). El objetivo de este paso es guiar al equipo para que piense, por ejemplo, acerca de la población que se beneficiaría con el proyecto, el valor del proyecto, el subsector o los subsectores en los que se enmarca el proyecto, el tipo y la cantidad de edificios e infraestructura que se construiría o modificaría y el ambiente antrópico y natural de la zona de influencia del proyecto. Esto puede realizarse mediante una tabla o un gráfico, pero también se puede utilizar una serie de preguntas.

Recuadro 4.4. Operaciones multisectoriales y de obras múltiples

En el caso de **operaciones de obras múltiples**^a, donde se encuentra representado más de un subsector y las obras son físicamente independientes unas de otras, si bien se debe evaluar cada grupo de obras individuales, es necesario evaluar la criticidad de la operación en su conjunto. Siguiendo el mismo criterio aplicado para los aspectos ambientales y sociales, la clasificación más alta asignada a un proyecto individual de la muestra debe tomarse como clasificación orientativa de la operación completa.

^aLos préstamos para obras múltiples son más flexibles que los préstamos para proyectos específicos. Estos préstamos están diseñados para financiar grupos de obras similares que son físicamente independientes unas de otras y cuya viabilidad no depende de la implementación de un número determinado de los proyectos de las obras. Debido a que no todos los subproyectos a ser financiados con el préstamo son conocidos en el momento que el BID aprueba el préstamo, los prestatarios deben especificar una muestra representativa de subproyectos antes de la aprobación del préstamo. Esta muestra debe constituir aproximadamente el 30 por ciento del costo del proyecto. Durante la implementación del proyecto, se financian inversiones individuales de acuerdo con los criterios de elegibilidad definidos en la propuesta de préstamo. Algunos ejemplos de actividades elegibles incluyen el financiamiento de servicios de suministro de agua y saneamiento en varias zonas rurales que no habían sido identificadas antes de la aprobación del proyecto por el BID. Véase Categoría de préstamos de inversión: <https://www.iadb.org/es/prestamosdeinversion>

En primer lugar, incluimos algunas notas sobre alcance del proyecto, vida útil de la infraestructura y posible falla del proyecto:

(a) El **alcance del proyecto** probablemente brinde cierta orientación acerca de los elementos que podrían requerir ampliar el análisis y la información que ya esté disponible. Por ejemplo, el equipo puede preguntar:

- Si no hay estructuras existentes, ¿la operación definirá cada parámetro de diseño y operativo desde las etapas iniciales de conceptualización? (Diseñar/construir proyectos, por ejemplo).
- ¿Existen estructuras que ya estén en etapa de construcción u operación? ¿Se realizarán mejoras únicamente en partes específicas¹²? (No en toda la infraestructura sino, por ejemplo, proyectos de modernización/mejora).
- ¿Se trata de un proyecto de planificación que incluye infraestructura?

(b) En términos de la vulnerabilidad del proyecto, otra pregunta clave a realizar es cuál es la **vida útil de la infraestructura**. Esto puede servir para decidir si es necesario realizar una evaluación de riesgo más exhaustiva. La Tabla 4.1 muestra ejemplos de estándares típicos utilizados por diferentes industrias. Dado que los estándares pueden variar dependiendo del contexto del país, por ejemplo, sólo se los debe considerar como indicativos y es necesario utilizar los valores específicos del proyecto en cada operación.

¹² Nótese que en ciertos casos los proyectos de modernización/mejora pueden requerir de un estudio de toda la estructura, no sólo de las partes objeto de la mejora.

Tabla 4.1. Vida útil típica de las infraestructuras

Tipo de proyecto	Componente del proyecto	Vida útil típica
Suministro de agua	Planta de tratamiento de agua	30 años
	Estación de bombeo	30 años
	Tanque de almacenamiento	50 años
	Pozo	30 años
	Red de distribución	50 años
	Instrumental y controles	10 años
	Conexiones del servicio	30 años
Gestión de aguas residuales/ cloacas	Planta de tratamiento de aguas residuales	30 años
	Estación de bombeo	30 años
	Campo séptico	25-30 años
	Red cloacal	35 años
	Instrumental y controles	10 años
Transporte	Vía de asfalto	50 años
	Vía de grava	50 años
	Puente	75 años
	Túnel	75 años
Infraestructura social	Hospital/centro de salud	30-50 años
	Escuela	30-50 años
Drenaje	Red de drenaje de aguas pluviales	50 años
	Estanques húmedos	20 años
	Cuencas de detención extendidas secas	20 años
	Humedales construidos para tratamiento de aguas pluviales	20 años
	Áreas de bio-retención	20 años
	Pavimento permeable	20 años
	Cisternas y barriles de lluvia	20 años
	Cubiertas verdes o techos jardín	20 años
	Filtro en alcorque	20 años
	Filtros de arena	20 años
	Cunetas verdes	20 años
Energía/agua	Represas hidroeléctricas	50 años
	Componentes de seguridad (esclusas, válvulas)	20-25 años
Regulación y distribución de agua	Reservorios, canales, transferencias	25-50 años

Fuente: TetraTech y opinión profesional del BID.

Nota: (i) “vida útil” se refiere a la vida útil de la infraestructura en sí y no de la operación del BID; (ii) nótese que en algunos casos las escuelas pueden funcionar como refugios de emergencia; (iii) los componentes de seguridad asociados a una represa guardan relación directa con la gestión del riesgo de inundación y tienen una vida útil de 20-25 años si son mantenidos de forma adecuada (Martins Nogueira y Alarcón, 2019).

c) Quizás el factor más importante a considerar en este paso es: ¿cuáles podrían ser las posibles consecuencias de la falla del proyecto, incluso sobre las comunidades aledañas y el medio ambiente? Por ejemplo:

- Si tu proyecto falla, ¿existe la posibilidad de pérdidas de vida asociadas a la falla?
- ¿A cuántas personas beneficiará el proyecto? Si fallase, ¿cuántas personas perderían un servicio crítico?
- ¿Hay infraestructura redundante que puede utilizarse en caso de falla del proyecto?
- ¿Se produciría una pérdida significativa de servicios ecosistémicos?

e. ¿La construcción o existencia del proyecto podría exacerbar el riesgo asociado a cualquiera de las amenazas para las comunidades aledañas?

El objeto del Paso 2 es desarrollar esta conversación con los especialistas en la tipología de proyecto correspondiente de antemano, para poder determinar las características clave de una tipología de proyecto que, en general, lo vuelven más crítico (esto facilita el screening de riesgo Alto, Moderado, Bajo). El razonamiento detrás de este Paso es que, si bien puede existir incertidumbre con respecto a la amenaza, exista más certidumbre acerca de lo que hace que el proyecto sea crítico. El Recuadro 4.5 muestra un ejemplo del tipo de preguntas que pueden ayudar a guiar al equipo cuando aún no se desarrolló una tabla de criticidad.

Recuadro 4.5. Preguntas clave para determinar la criticidad y vulnerabilidad

En el caso de subsectores o tipologías de proyecto para los cuales aún no se ha desarrollado una tabla de criticidad con especialistas del sector, las siguientes características son útiles al momento de pensar en la criticidad. Al utilizar esta matriz, se debe tener un enfoque conservador, es decir, la categoría más alta hallada para cada característica individual debe ser tomada para toda la operación. Los límites deben determinarse teniendo en cuenta la opinión de expertos del sector y se los debe utilizar como una guía general; se los puede ajustar o reemplazar por otros que sean más apropiados para contextos específicos. Véase los Recuadros 4.7, 4.9 y 4.10 para conocer un ejemplo de tablas de criticidad donde estas preguntas han sido analizadas con especialistas del sector.

Características clave	Baja	Moderada	Alta
Características físicas clave que vuelven más vulnerable a un proyecto (por ejemplo, en el caso de vías, ¿hay puentes?)	Ejemplo: sin puentes	Ejemplo: al menos x puentes críticos	Ejemplo: x o más puentes críticos
Posible pérdida de vidas asociada a una falla del proyecto (podría ser más preciso, por ejemplo algunos sectores tienen estándares para esto)	Poco probable	Probable	Muy probable
Cantidad de personas beneficiadas^a para quienes el servicio podría interrumpirse	<x ^b	x a y	>y
¿Infraestructura redundante?	Sí	Parcial, a definir caso por caso	No
Valor del proyecto (USD)	<x	x a y	>y
Potencial pérdida significativa de servicios ecosistémicos	Poco probable	Probable	Muy probable
...y cualquier otra característica relevante según la tipología de proyecto o zona de intervención

^a Es decir, personas que se benefician con el servicio que brinda la infraestructura.

^b Nótese que no se ofrecen valores porque esto debería determinarse mediante un taller (o ejercicio similar) con los especialistas en la tipología de proyecto en cuestión y puede depender del contexto específico.

La información del Paso 2 debe ser ponderada junto con el screening de la amenaza en el Paso 1 para obtener una clasificación general del riesgo estimado del proyecto. Otras preguntas específicas para el proyecto sobre características estructurales y operativas deben complementar éstas para determinar si se requieren estudios adicionales (este el objetivo del Paso 3).

4.2.3 Criterios de criticidad para sectores seleccionados

Esta sección presenta ejemplos de gráficos para sectores específicos para ilustrar el concepto de criticidad y vulnerabilidad para vías, sistemas de suministro de agua, saneamiento y drenaje y represas hidroeléctricas. Esta sección estudiará primero cada subsector en más detalle y luego la correspondiente tabla y gráfico de criticidad. Se agregó una sección sobre infraestructura social, para la cual aún se está desarrollando una tabla de criticidad. Se incluyó la discusión correspondiente al subsector para ayudar al lector a analizar qué características de cada uno de estos tipos de proyecto son más o menos afectadas por diferentes amenazas naturales.

Drenaje y suministro de agua y saneamiento



Drenaje. La infraestructura de drenaje lleva la escorrentía pluvial lejos de edificios, vías y otra infraestructura crítica con la mayor rapidez y eficiencia posible.

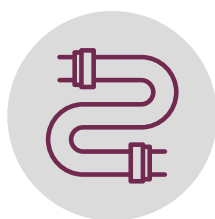
Si bien esto es eficaz para proteger la infraestructura cercana a la fuente de exceso de escorrentía, puede ocasionar un aumento en las inundaciones aguas abajo y en los daños estructurales. En respuesta a ello, se han adoptado enfoques de control de inundaciones que incorporan el almacenamiento temporal de escorrentía aguas arriba de las zonas preocupantes en términos de inundación. El tratamiento del agua pluvial evolucionó más allá de la

infraestructura “gris” (bordillos o cordones, cunetas, alcantarillas) para incluir estanques húmedos y humedales para tratamiento de agua pluvial, y posteriormente diversas prácticas de infraestructura verde¹³ (véase el Apéndice I).



Suministro de agua. La infraestructura para suministro de agua suele incluir una fuente de suministro (agua superficial, vertiente o agua subterránea), sistemas de tratamiento,

bombeo, almacenamiento y distribución (para transportar las aguas tratadas a los usuarios finales), instrumentos y controles (para informar el estado de la infraestructura de suministro de agua a los operarios) y conexiones del servicio (sistema que une la tubería de agua local con el usuario final).



Gestión de aguas residuales/cloacas. Los proyectos más comunes de gestión de aguas residuales incluyen tres componentes principales: recolección/transporte, tratamiento y

disposición del producto. La infraestructura de recolección/transporte está compuesta por tuberías que mueven el agua residual desde el lugar donde se genera hasta el lugar donde será tratada (planta de tratamiento de aguas residuales). Tratamiento significa cualquier proceso cuyo objetivo es modificar el agua residual de modo tal que sea más fácil de tratar o más apta para su dispersión en el medio ambiente. La disposición del producto típicamente se refiere a la gestión final de los efluentes de aguas residuales tratadas, que suelen dispersarse en el medio ambiente (por ejemplo, vertido en aguas superficiales, distribución en el suelo) o reutilizarse.

¹³ La infraestructura verde es un “enfoque resiliente y eficaz en términos de costos para gestionar los impactos del clima húmedo que brinda numerosos beneficios para la comunidad. Mientras que la infraestructura gris de aguas pluviales tiene un único propósito (sistemas convencionales de drenaje por tuberías y sistemas de tratamiento de agua) y está diseñada para quitar el agua pluvial del entorno construido, la infraestructura verde reduce y trata el agua pluvial y su origen brindando al mismo tiempo beneficios ambientales, sociales y económicos.” Véase: What Is sustainable Infrastructure? EPA: <https://www.epa.gov/green-infrastructure/what-green-infrastructure>.

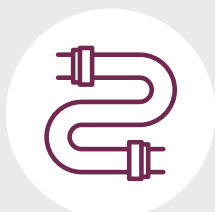
Recuadro 4.6. Infraestructura de drenaje y de suministro de agua y saneamiento



Drenaje



Suministro de agua



Gestión de aguas residuales/cloacas



Gráfico de criticidad

Luego de realizar una reunión de trabajo con especialistas del Sector Agua, se estableció que las siguientes dimensiones son importantes para determinar la criticidad de la infraestructura de drenaje, suministro de agua y aguas residuales:

Impactos negativos en servicios esenciales: Si hubie-

se una interrupción del servicio producto de una falla en la infraestructura, ¿cuántas personas se verían afectadas?

Impactos negativos en la población: Si las estructuras de retención fallasen, ¿es probable que se produjeran daños físicos? ¿Es probable que hubiera personas afectadas? ¿Podría haber pérdida de vidas? ¿Podría haber daño ambiental?

Características físicas: ¿Existen estructuras de retención? En caso afirmativo, ¿cuán altas son? ¿Cuál es el volumen retenido?

El resultado de este proceso de razonamiento es un sistema que califica la criticidad y la vulnerabilidad en tres niveles (baja, moderada o alta) utilizando las tres dimensiones

principales mencionadas anteriormente, donde la categoría más alta obtenida en cualquiera de las tres dimensiones se toma como clasificación general (enfoque conservador). A continuación presentamos el sistema de clasificación.

» Dimensión 1 - Impactos negativos en servicios esenciales

En estos tipos de proyecto de infraestructura, la criticidad del sistema está ligada a la pérdida de la capacidad de brindar servicios esenciales de drenaje, suministro de agua potable y gestión de aguas residuales debido a una falla del sistema. Por lo tanto, para representar esta dimensión se ha seleccionado un indicador de

la magnitud de la pérdida del suministro de servicios esenciales. La siguiente tabla muestra los rangos cuantitativos definidos para el indicador. Nótese que se trata de valores indicativos y es posible que los límites deban ser ajustados dependiendo del contexto.

Tabla 4.2. Umbrales indicativos para la Dimensión 1

Componente	Baja	Moderada	Alta
Impactos en la funcionalidad del servicio	La falla en la provisión de servicios de drenaje, suministro de agua potable y gestión de aguas residuales afecta a una municipalidad de menos de 10.000 habitantes	La falla en la provisión de servicios de drenaje, suministro de agua potable y gestión de aguas residuales afecta a una municipalidad con una población entre 10.000 y 100.000 habitantes	La falla en la provisión de servicios de drenaje, suministro de agua potable y gestión de aguas residuales afecta a una municipalidad de más de 100.000 habitantes

» Dimensión 2 - Impactos negativos en la población

En estos tipos de proyecto, los impactos en la población se relacionan con la cantidad de habitantes que podrían potencialmente sufrir daños (incluso la pérdida de vida) debido, principalmente, a la falla o el colapso de cualquiera de las estructuras de retención de agua, como diques,

reservorios y represas, entre otras. Por lo tanto, para representar esta dimensión se ha seleccionado un indicador de la magnitud de los daños y de la pérdida de vidas. La siguiente tabla muestra los rangos cualitativos definidos para el indicador.

Tabla 4.3. Umbrales indicativos para la Dimensión 2

Componente	Baja	Moderada	Alta
Impactos en la población	La falla de las estructuras de retención de agua causa daños materiales de moderada importancia y solo incidentalmente pérdida de vida	La falla de las estructuras de retención de agua causa daños materiales o medioambientales importantes o afecta a una cantidad reducida de hogares	La falla de las estructuras de retención de agua afecta gravemente a los centros urbanos o a servicios esenciales y causa daños materiales o medioambientales muy importantes

» Dimensión 3 - Características físicas

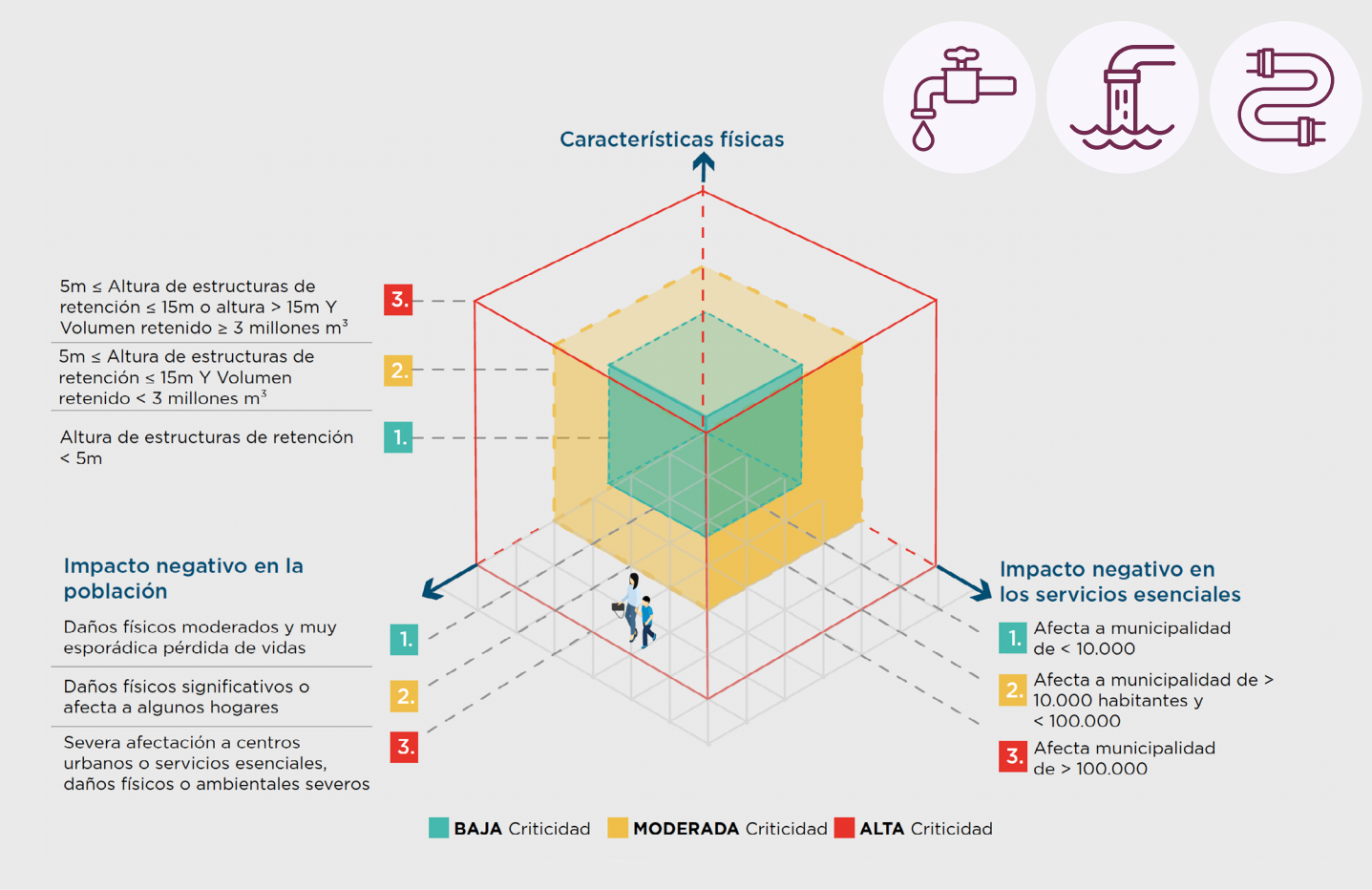
En estos tipos de proyecto, existen diversos tipos de componentes que merecen especial consideración por su capacidad de liberar grandes cantidades de agua de forma descontrolada en caso de falla del componente. Se trata de las mismas estructuras mencionadas en la dimensión 2, es

decir, diques, reservorios y represas, entre otras. Por lo tanto, para representar esta dimensión de vulnerabilidad se ha seleccionado la existencia y las características de este tipo de estructuras. La siguiente tabla muestra los rangos cuantitativos definidos para el indicador.

Tabla 4.4. Umbrales indicativos para la Dimensión 3

Componente	Baja	Moderada	Alta
Características físicas de las estructuras de retención de agua	Existencia de estructuras de retención de agua con una altura inferior a 5 metros	Existencia de estructuras de retención de agua con una altura desde cimiento de entre 5 y 15 metros y capacidad de embalse inferior a 3 millones de metros cúbicos	Existencia de estructuras de retención de agua con una altura desde cimiento superior a 15 metros o entre 5 y 15 metros con capacidad de embalse superior a 3 millones de metros cúbicos

Recuadro 4.7. Tabla de criticidad para infraestructura de drenaje, suministro de agua y gestión de aguas residuales



Aspectos que guiaron el análisis sobre criticidad: infraestructura de drenaje y de suministro de agua y saneamiento

A continuación consta una lista de los aspectos identificados como relevantes para el análisis orientado a evaluar la criticidad y vulnerabilidad de la infraestructura de drenaje y de suministro de agua y saneamiento, que ayudaron a elaborar la tabla de criticidad. El análisis de estos aspectos con expertos del sector dio como resultado la creación de una tabla que integra todos (o la mayoría) de estos parámetros y permite una categorización de los niveles de criticidad y vulnerabilidad.

- **Escala del proyecto** (cantidad de personas beneficiadas, etc.). [Esto está reflejado en la tabla de criticidad.]
- **Tipo de estructuras** (estructuras de retención de agua, almacenamiento de agua, red de tuberías, canales, plantas de tratamiento, etc.) [Esto está reflejado en la tabla de criticidad.]
- **Métodos constructivos** utilizados (por ejemplo, sistemas subterráneos, etc.).
- **Periodos de retorno** de diseño para la operación de elementos hidráulicos, si corresponde (es decir, para la gestión de lluvias).
- Existencia de **problemas de carácter hidrogeológico** (es decir, susceptibilidad a inundación, terremotos y otras amenazas naturales).
- Existencia de **estructuras singulares** como estructuras de retención de agua (represas o reservorios), implicancias en caso de falla e importancia. [Esto está reflejado en la tabla de criticidad.]
- **Potencial de afectar a la población** debido a una falla de las estructuras de retención de agua. [Esto está reflejado en la tabla de criticidad.]

Para crear la tabla de criticidad se consideraron las siguientes dimensiones orientativas:

Alcance del subsector: Si bien este subsector incluye tres servicios distintos (suministro de agua, tratamiento de aguas residuales y control de inundaciones), tienen numerosas características similares en términos de tipos de estructura que incluyen y sus susceptibilidades ante las amenazas naturales. Por lo tanto, se concluyó que es innecesario separar estos servicios y se puede adoptar un enfoque global siempre y cuando se consideren estas características específicas.

Estructuras relevantes implicadas: Entre los diferentes tipos de estructura incluidos en estos sistemas, los que tienen la capacidad de retener grandes volúmenes de agua son considerados los más preocupantes debido a que implican una amenaza significativa por sus potenciales consecuencias destructivas en caso de falla (incluido el colapso).

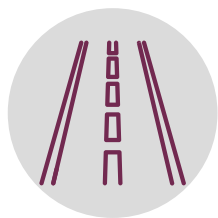
Amenazas naturales relevantes: Las amenazas naturales más relevantes son inundación a nivel de sistema y terremotos y deslizamientos de tierra a niveles más localizados para estructuras específicas.

Necesidad de desagregar parámetros clave en diversas tablas: No se considera necesario definir más de una tabla pero es importante distinguir entre la infraestructura diseñada específicamente para reducción de riesgo de inundación y la que tiene otros propósitos.

Dimensiones clave requeridas: Se definieron tres dimensiones principales que abarcan todas las características mencionadas anteriormente: **pérdida de servicios esenciales, impactos en la población y características físicas.**

El resultado de este proceso de razonamiento llevó a los resultados presentados en las Tablas 4.2, 4.3 y 4.4 y el Recuadro 4.7.

Infraestructura vial



La **infraestructura vial** incluye vías, puentes y túneles, y los siguientes componentes: taludes de corte, taludes de relleno, terraplenes, cunetas, alcantarillas, estructuras de drenaje, muros de retención, pasos elevados y pasos bajo nivel y pavimentos (véase el Recuadro 4.8).

El sector de infraestructura vial es particularmente vulnerable a **terremotos**, **inundaciones** y **deslizamientos de tierra**, y en casos muy particulares y

localizados, a erupciones volcánicas y tormentas de nieve también (Bengtsson, 2008). Si bien otras amenazas de evolución más lenta, como las olas de calor, pueden incidir en la durabilidad y el mantenimiento de la estructura del pavimento en el largo plazo, su impacto es menos sustancial. Asimismo, diferentes escenarios pueden dar lugar a un modo de falla específico dependiendo de las circunstancias específicas del proyecto. Por ejemplo, una vía puede ser muy vulnerable a los terremotos si se encuentra situada en suelo que favorece la licuefacción y, al mismo tiempo, puede ser muy poco vulnerable a inundación porque tiene estructuras de drenaje y protección.

Recuadro 4.8. Infraestructura vial



Gráfico de criticidad

Luego de realizar una reunión de trabajo con especialistas del Sector de Transporte, se determinó que las siguientes dimensiones son importantes para determinar la criticidad de la infraestructura vial:

Pérdida de servicios esenciales: ¿Los servicios esenciales serían fácilmente accesibles luego de la falla?

Interacción con el entorno natural y antrópico: ¿Hay secciones con pendientes elevadas? ¿Los deslizamientos de tierra podrían causar daños mayores? ¿Podrían verse afectados grandes asentamientos poblacionales? ¿La vía genera nuevos asentamientos?

Características físicas: ¿La vía incluye puentes, túneles o numerosas estructuras de drenaje con gran capacidad?

El resultado de este proceso de razonamiento es un sistema que califica la criticidad y la vulnerabilidad en tres niveles (baja, moderada o alta) utilizando tres dimensiones principales, en el que la categoría más alta obtenida en cualquiera de las tres dimensiones se toma como clasificación general (enfoque conservador). A continuación presentamos el sistema de clasificación.

» Dimensión 1 - Pérdida de servicios esenciales

En los proyectos de infraestructura vial, la pérdida de servicios esenciales debido a una falla del sistema puede vincularse con la conectividad y capacidad de tránsito que la infraestructura deja de ofrecer una vez ocurrida la falla. Por lo tanto, estos dos indicadores de funcionalidad (accesibilidad y tráfico horario) han sido seleccionados para represen-

tar esta dimensión. La siguiente tabla muestra los rangos cualitativos y cuantitativos definidos para cada uno de estos indicadores. Para obtener una categorización única de criticidad/vulnerabilidad en esta dimensión, se debe utilizar la clasificación más desfavorable (más baja) obtenida por uno de los dos criterios.

Tabla 4.5. Umbrales indicativos para la Dimensión 1

Componente	Baja	Moderada	Alta
Nivel de accesibilidad posterior a la falla	Tras fallo, se mantiene una accesibilidad (Muy accesible o Accesible) a los servicios esenciales	Tras fallo, se mantiene una accesibilidad (Moderadamente Accesible) a los servicios esenciales	Tras fallo, se mantiene una accesibilidad (Remota) a los servicios esenciales
Tráfico horario	0 - 600 vehículos por hora	600 - 1200 vehículos por hora	Más de 1200 vehículos por hora

» Dimensión 2 - Interacción con el entorno natural y antrópico

Los proyectos de infraestructura vial tienen la característica principal de ser estructuras lineales que cubren grandes distancias (en general, al menos decenas de kilómetros), lo cual puede incrementar la exposición de la vía a diferentes amenazas, aumentando el riesgo y las posibles consecuencias en caso de falla. Por lo tanto, se han seleccionado dos indicadores de esta expo-

sición (presencia de taludes y centros urbanos) para representar esta dimensión. La siguiente tabla muestra los rangos cualitativos definidos para cada uno de estos indicadores. Para obtener una única categorización de criticidad/vulnerabilidad en esta dimensión, se debe utilizar la clasificación más desfavorable (más baja) obtenida por uno de los criterios.

Tabla 4.6. Umbrales indicativos para la Dimensión 2

Componente	Baja	Moderada	Alta
Taludes	El trazado discurre en pocas o en ninguna parte por taludes de elevadas pendientes y el deslizamiento no provocaría afecciones a la carretera o lo haría de forma poco significativa	El trazado discurre en algunas partes por taludes de elevadas pendientes y el deslizamiento puede provocar la ruina parcial de la carretera.	El trazado discurre en su mayoría por taludes de elevadas pendientes y el deslizamiento puede provocar la ruina de una gran parte de la carretera
Centros urbanos	La vía incide sobre un núcleo poco importante para la actividad económica de la zona, generando a su alrededor pocos o inexistentes asentamientos y conectando núcleos poblacionales de poca relevancia.	La vía incide sobre un núcleo moderadamente importante para la actividad económica de la zona, generando a su alrededor asentamientos de cierto tamaño y conectando núcleos poblacionales de moderada relevancia.	La vía incide sobre un importante núcleo para la actividad económica de la zona, generando a su alrededor múltiples asentamientos y conectando grandes núcleos poblacionales.

» Dimensión 3 - Características físicas

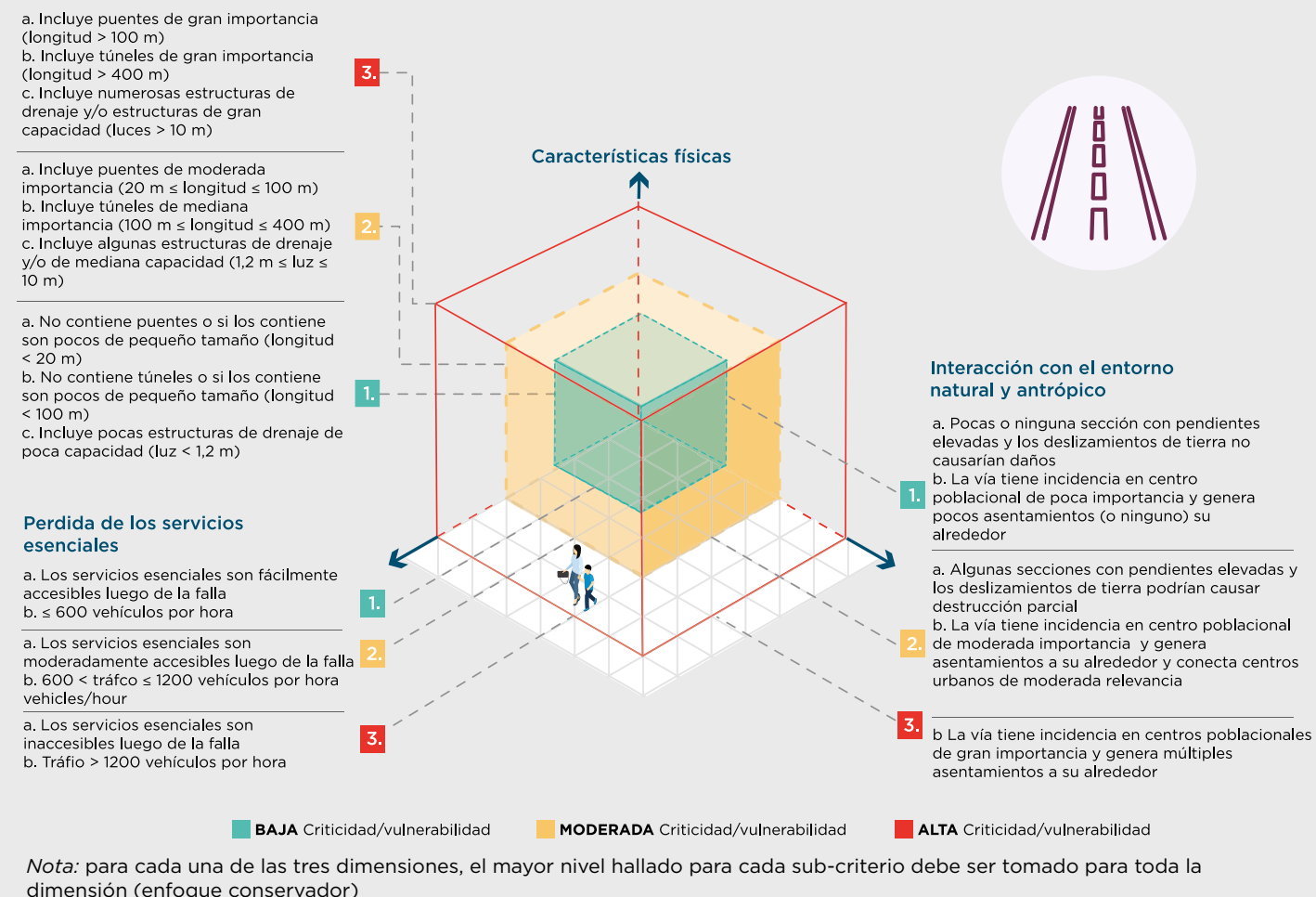
En los proyectos de infraestructura vial las características físicas y/o estructurales se refieren a obras singulares que pueden existir a lo largo de la traza de la vía. Obras o estructuras singulares significa puentes, túneles y obras de drenaje; estas últimas se relacionan con la capacidad potencial de la vía de actuar como barrera e inundar áreas extensas. Por lo tanto, se han seleccionado tres indicadores

(presencia de puentes, túneles y obras de drenaje transversales) para representar esta dimensión. La siguiente tabla muestra los rangos cualitativos y cuantitativos definidos para cada uno de estos indicadores. Para obtener una categorización única de criticidad/vulnerabilidad en esta dimensión, se debe utilizar la clasificación más desfavorable (más baja) obtenida por uno de los dos criterios.

Tabla 4.7. Umbrales indicativos para la Dimensión 3

Componente	Baja	Moderada	Alta
Presencia de puentes	La traza de la vía no contiene puentes o si los contiene, son poco relevantes (longitud < 20m)	La traza de la vía contiene puentes moderadamente relevantes (20m < longitud < 100m)	La traza de la vía contiene puentes relevantes (Longitud > 100m)
Presencia de túneles	La traza de la vía no contiene puentes o si los contiene, son poco relevantes (longitud < 100m)	La traza de la vía contiene túneles moderadamente relevantes (100m < longitud < 400m)	La traza de la vía contiene túneles de gran relevancia (longitud < 400m)
Presencia de obras de drenaje transversales	La traza de la vía contiene pocas estructuras de drenaje transversales de poca capacidad (luces < 1.2m).	La traza de la vía contiene un número moderado de estructuras de drenaje transversales y/o de capacidad media (1.2m < luces < 10m).	La traza de la vía contiene numerosas estructuras de drenaje transversales y/o de gran capacidad (luces > 10m).

Recuadro 4.9. Gráfico de criticidad para infraestructura vial



Aspectos que guiaron el análisis de criticidad: Infraestructura de transporte

Típicamente, la importancia o criticidad de una vía se evalúa en términos del nivel de servicio requerido. Se considera que las vías de alta importancia tienen un correspondiente alto nivel de servicio requerido. Típicamente se considera que las vías de alto servicio incluyen líneas vitales consideradas críticas para respuesta ante desastres; vías de importancia económica significativa por conectar recursos o mercancía desde su origen hasta los mercados; vías con volúmenes de tráfico significativos; y vías de importancia estratégica. Las vías de importancia moderada a baja son más locales y de uso más habitual.

Por otra parte, para analizar la vulnerabilidad de una estructura lineal como una vía, los enfoques habituales incluyen la utilización de (i) costos de viaje y/o (ii) el índice de accesibilidad de Hansen

(Bengtsson, 2008). En cualquier caso, y debido a la variabilidad de las formas en que una infraestructura de tipo vial puede fallar, se puede realizar una homogeneización de todos los diferentes modos de falla mediante un costo de viaje integral que incluye tanto el costo de reparar/reconstruir la vía como el costo del tiempo perdido por los usuarios. De hecho, y contrario a lo que ocurre con otras infraestructuras civiles, las consecuencias más importantes de una eventual falla de este tipo de infraestructura se relacionan más con la imposibilidad de utilizarla y con los efectos asociados que ello tiene en la población, que con la pérdida de vidas.

A continuación se enumeran los aspectos que han sido identificados como relevantes para el análisis orientado a evaluar la criticidad y vulnerabilidad de infraestructura vial, que ayudaron a elaborar la tabla de criticidad. El análisis de estos aspectos con expertos del sector dio como resultado la creación

de una tabla que integra todos estos parámetros (o su mayoría) y permite una categorización de los niveles de criticidad y vulnerabilidad.

- **Escala de la vía** (línea vital, nacional, regional, local, etc.).
- **Tipo de tráfico** (mercancías peligrosas, camiones, turismo, etc.).
- **Demanda de tráfico** y relación demanda/capacidad.
- **Funcionalidad esperada** (es decir, mejoras en términos de tiempos de viaje y/o costos, accesibilidad a servicios esenciales). [Incluido en la tabla de criticidad.]
- **Proximidad a centros urbanos importantes** e intersecciones con otras infraestructuras relevantes. [Incluido en la tabla de criticidad.]
- Existencia o falta de **redundancia** en la red (es decir, si hay opciones de conectividad alternativas).
- Porcentaje de secciones de la vía en **terraplenes y taludes de corte y relleno**, y magnitud de los trabajos de movimiento de suelo. [Incluido en la tabla de criticidad.]
- Existencia de problemas de tipo **hidrogeológico** (es decir, cruces de cuerpos de agua naturales, presencia de suelos blandos, arcillas expansivas, potencial de licuefacción, niveles freáticos, presencia de pendientes potencialmente peligrosas, condiciones de inestabilidad de pendientes). [Incluido en la tabla de criticidad - indirectamente.]
- Existencia de **estructuras singulares** como puentes y túneles, sus implicancias e importancia (es decir, procedimientos constructivos, criticidad para la funcionalidad de la vía). [Incluido en la tabla de criticidad.]

Para elaborar esta tabla, se consideraron las siguientes dimensiones orientativas:

Alcance del subsector: Si bien el subsector vial es complejo debido a la cantidad y variedad de estructuras potencialmente relevantes que incluye, se consideró un enfoque integrado.

Estructuras relevantes implicadas: Aparte de la vía en sí misma como la estructura convencional, existen estructuras singulares, como túneles y puentes, que tienen un peso significativo en la criticidad y vulnerabilidad de la entidad agrupada.

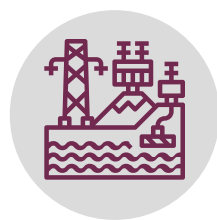
Amenazas naturales relevantes: Las amenazas naturales más relevantes son los terremotos, las inundaciones y los deslizamientos de tierra.

Necesidad de desagregar parámetros clave en diversas tablas: No se considera necesario definir más de una tabla, pero es clave distinguir entre las amenazas principales que originan una falla de la infraestructura dadas sus diferentes implicancias. Por ejemplo, los terremotos pueden tener impactos extendidos e importantes, mientras que las inundaciones tienen impactos más limitados y los deslizamientos de tierra pueden tener efectos aún más localizados.

Dimensiones clave requeridas: Se definieron tres dimensiones principales que abarcan todas las características mencionadas anteriormente: **pérdida de servicios esenciales, interacción con el entorno natural y antrópico y características físicas.**

El resultado de este proceso de razonamiento llevó a los resultados presentados en las Tablas 4.5, 4.6 y 4.7 y el Recuadro 4.9.

Represas hidroeléctricas



En el caso de los **proyectos hidroeléctricos** que, por naturaleza, son esencialmente complejos y diversos, es necesario considerar una serie de aspectos para poder evaluar su criticidad y vulnerabili-

dad. Esto incluye la capacidad de almacenamiento del reservorio, la tipología de la represa en sí misma, la altura de la represa, el área afectada por una potencial falla, la tipología del vertedero, si el agua del vertedero fluye a través de canales abiertos o tubos presurizados, si existen elementos de control y regulación en el vertedero, si existe una cámara de recarga y la tipología de las turbinas, el alternador y el transformador, entre otros aspectos.

Gráfico de criticidad

Luego de realizar una reunión de trabajo con especialistas del Sector de Energía, se determinó que las siguientes dimensiones son importantes para determinar la criticidad de las represas hidroeléctricas:

Pérdida de servicios esenciales: ¿Qué porcentaje del suministro eléctrico del país proveerá la represa?

Interacción con el entorno natural y antrópico: Si la represa fallase, ¿es probable que ocurran daños físicos importantes y pérdida de vidas? ¿Podrían verse afectados grandes centros poblacionales?

Características físicas: ¿Cuál es la altura de la represa? ¿El volumen de embalse?

El resultado de este proceso de razonamiento es un sistema que califica la criticidad y la vulnerabilidad en tres niveles (baja, moderada o alta) utilizando tres dimensiones principales, en el que la categoría más alta obtenida en cualquiera de las tres dimensiones se toma como clasificación general (enfoque conservador). A continuación presentamos el sistema de clasificación.

» Dimensión 1 - Pérdida de servicios esenciales

En proyectos hidroeléctricos, la pérdida de servicios esenciales debido a una falla del sistema puede relacionarse con la dependencia del suministro eléctrico proporcionado por la central a la región o al país donde está situada. Por lo tanto, este indicador de potencia instalada (en términos de parti-

cipación en el suministro eléctrico del país correspondiente a la central de energía hidroeléctrica estudiada) ha sido seleccionado para representar esta dimensión. La siguiente tabla muestra los rangos cuantitativos definidos para el indicador.

Tabla 4.8. Umbrales indicativos para la Dimensión 1

Componente	Baja	Moderada	Alta
Pérdida de servicios esenciales	Centrales hidroeléctricas cuya potencia instalada representa menos del 1% del suministro eléctrico del país	Centrales hidroeléctricas cuya potencia instalada representa entre el 1% y el 10% del suministro eléctrico del país	Centrales hidroeléctricas cuya capacidad instalada representa más del 10% del suministro eléctrico del país

» Dimensión 2 - Impactos en la población

En los proyectos hidroeléctricos los impactos sobre la población se relacionan con la cantidad de habitantes aguas abajo de la represa hidroeléctrica que podrían potencialmente sufrir daños (incluidas la pérdida de vidas) debido a una falla de la represa que retiene el agua o a una apertura no

controlada de las compuertas del sistema. Por lo tanto, para representar esta dimensión se ha seleccionado este indicador de la magnitud de los potenciales daños incluida la pérdida de vidas. La siguiente tabla muestra los rangos cualitativos definidos para el indicador.

Tabla 4.9. Umbrales indicativos para la Dimensión 2

Componente	Baja	Moderada	Alta
Impactos en la población	Represas cuya rotura o funcionamiento incorrecto causa daños materiales de moderada importancia y solo incidentalmente pérdida de vida	Represas cuya rotura o funcionamiento incorrecto causa daños materiales o medioambientales importantes o afecta a una cantidad reducida de hogares	Represas cuya rotura o funcionamiento incorrecto afecta gravemente los centros urbanos o servicios esenciales y causa daños materiales o medioambientales muy importantes

» Dimensión 3 - Características físicas

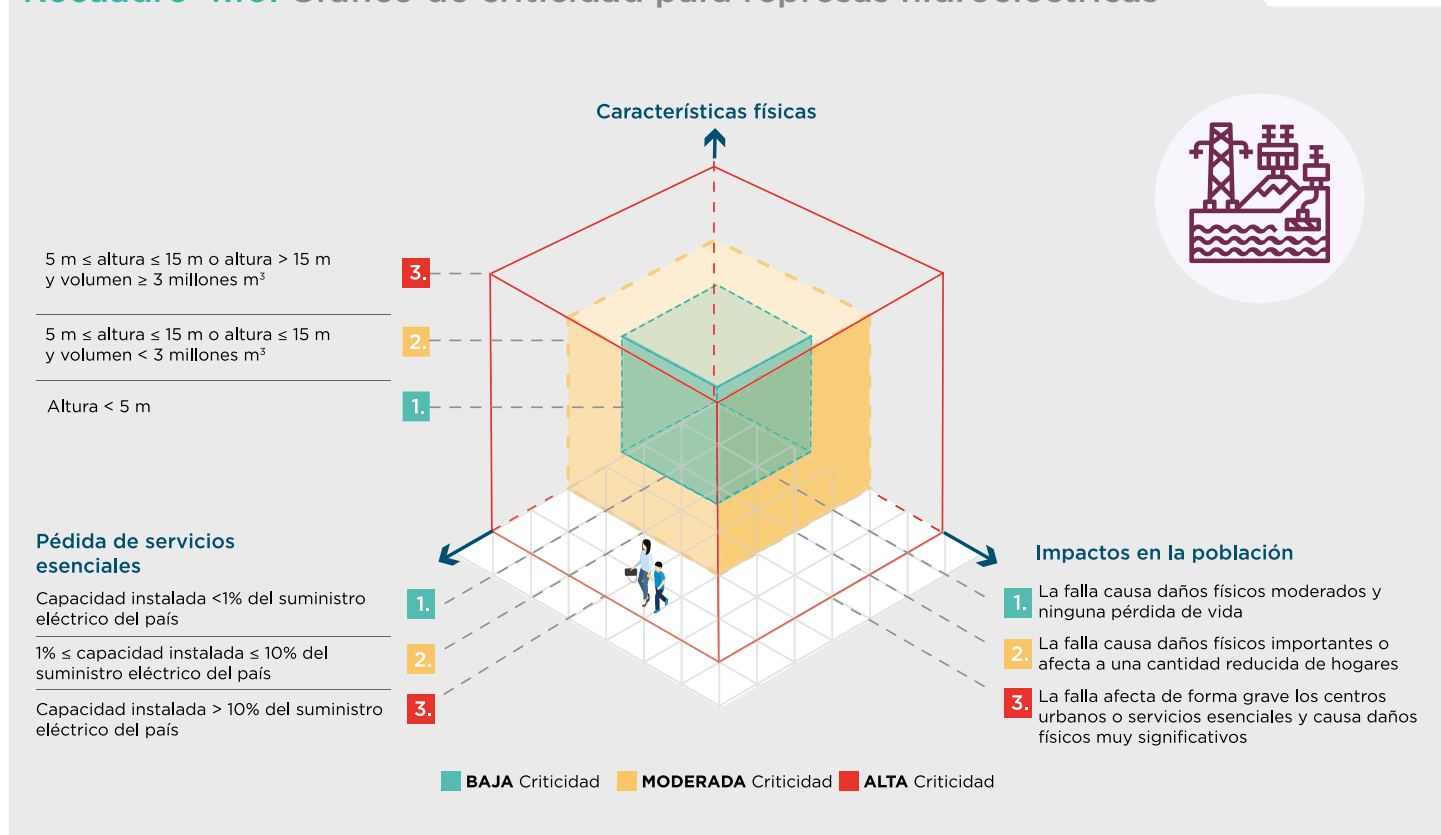
En los proyectos hidroeléctricos las características físicas y/o estructurales más ligadas a la posibilidad de generar consecuencias desastrosas son la altura y la capacidad de almacenamiento de la represa. Según ICOLD (2011), las represas grandes son aquellas cuya altura desde la cimentación es superior a los 15 metros, o aquellas cuya altura se

sitúa entre los 5 y 15 metros y su volumen de embalse supera los 3 millones de metros cúbicos. Por lo tanto, para representar esta dimensión se ha seleccionado un indicador de estas dos características (altura de la represa y volumen de embalse). La siguiente tabla muestra los rangos cuantitativos definidos para el indicador.

Tabla 4.10. Umbrales indicativos para la Dimensión 3

Componente	Baja	Moderada	Alta
Características físicas	La altura de la represa es inferior a 5 metros	La altura de la represa se sitúa entre los 5 y 15 metros y el volumen de embalse es inferior a 3 millones de metros cúbicos	La altura de la represa supera los 15 metros, o se sitúa entre los 5 y 15 metros y su volumen de embalse es mayor a 3 millones de metros cúbicos

Recuadro 4.10. Gráfico de criticidad para represas hidroeléctricas



Aspectos que guiaron el análisis de criticidad: Represas hidroeléctricas

A continuación se enumeran los aspectos identificados como relevantes para el análisis orientado a evaluar la criticidad y vulnerabilidad de represas hidroeléctricas, que ayudaron a elaborar la tabla de criticidad. El análisis de estos aspectos con expertos del sector dio como resultado la creación de una tabla que integra todos estos parámetros (o su mayoría) y permite una categorización de los niveles de criticidad y vulnerabilidad.

- Existencia de **represas como estructuras singulares** y sus características (tipología de la represa, altura, potencia instalada, volumen de embalse, capacidad del vertedero).
- **Tipo de proyecto** (construcción de una nueva infraestructura o rehabilitación de una existente).
- **Demanda hidrológica** (valores de caudal máximos históricos y proyectados del curso de agua).

- **Proximidad a asentamientos humanos y a infraestructura crítica** (incluidas poblaciones y asentamientos aguas arriba y aguas abajo)
- Impactos de una posible **falla de la represa o de las tuberías presurizadas del vertedero** (población potencialmente inundada).
- Existencia de problemas de tipo **hidrogeológicos y sísmicos** (es decir, variabilidad de la hidrología, capacidad estructural y características de permeabilidad de la geología, condiciones de inestabilidad de la pendiente o sismicidad en el área)

Para elaborar esta tabla, se consideraron las siguientes dimensiones orientativas:

Alcance del subsector: Es adecuado considerar las represas hidroeléctricas como un subsector y no hay necesidad de desagregarlo en más componentes.

Estructuras relevantes implicadas: Además de los sistemas eléctricos y las estructuras relacionadas con estos proyectos, las estructuras singulares

como las represas tienen un peso significativo en la criticidad y vulnerabilidad del proyecto.

Amenazas naturales relevantes: Las amenazas hidrológicas son claramente relevantes en estas infraestructuras; no obstante, otras amenazas como los terremotos o las inestabilidades geotécnicas, que son capaces de romper la represa y causar una liberación de agua descontrolada, también son pertinentes.

Necesidad de desagregar parámetros clave en diversas tablas: No se considera necesario definir más de una tabla.

Dimensiones clave requeridas: Se definieron tres dimensiones principales que abarcan todas las características mencionadas anteriormente: **pérdida de servicios esenciales, impactos en la población y características físicas.**

El resultado de este proceso de razonamiento llevó a los resultados presentados en las Tablas 4.8, 4.9 y 4.10 y el Recuadro 4.10.

Infraestructura social



La **infraestructura social** brinda a una comunidad o región servicios y funciones vitales que son esenciales para una comunidad en la vida diaria. La infraestructura social debe ser planificada, diseñada y construida de modo que también sea funcional durante y después de un desastre. Los siguientes son algunos ejemplos típicos de infraestructura social:

- **Centros comunitarios y escuelas**, especialmente si están diseñados como refugios o centros de evacuación.

- **Centros médicos**, como hospitales, clínicas, residencias para ancianos, asilos, bancos de sangre y centros de asistencia médica. Algunas de estas instalaciones tienen ocupantes y residentes que carecen de movilidad y son más vulnerables durante un desastre natural.

- **Instalaciones de respuesta ante emergencias**, incluidas las centrales de policía, las estaciones de bomberos, los centros de operaciones de emergencia y las instalaciones de almacenamiento de vehículos y equipos críticos, necesarias para llevar a cabo actividades de respuesta antes, durante y después de un desastre.

Una inundación puede cubrir de agua los pisos inferiores de la instalación; por lo tanto, es necesario considerar mover la infraestructura eléctrica crítica y el soporte logístico (servidores y centros de información) a los pisos superiores. Cada uno de los sistemas esenciales de la infraestructura social debe permanecer intacto o tener sistemas de respaldo para funcionar antes, durante y después del fenómeno. Los sistemas y equipos de la infraestructura social deben permanecer funcionales y estar diseñados según las normas locales o el Código de Construcción Internacional (IBC, por sus siglas en inglés). La pérdida de servicios básicos puede impedir que algunas instalaciones sociales críticas funcionen durante los fenómenos e inmediatamente después. Los servicios básicos suelen considerarse parte de las instalaciones sociales si éstas carecen de sistemas de respaldo ante emergencias. El mantenimiento de las comunicaciones es una función esencial que permite que todas las instalaciones sociales permanezcan conectadas con las agencias regionales y nacionales en caso de necesitar apoyo. El Recuadro 4.11 presenta las características típicas de un proyecto de infraestructura social considerado en esta Metodología.

Recuadro 4.11. Infraestructura social

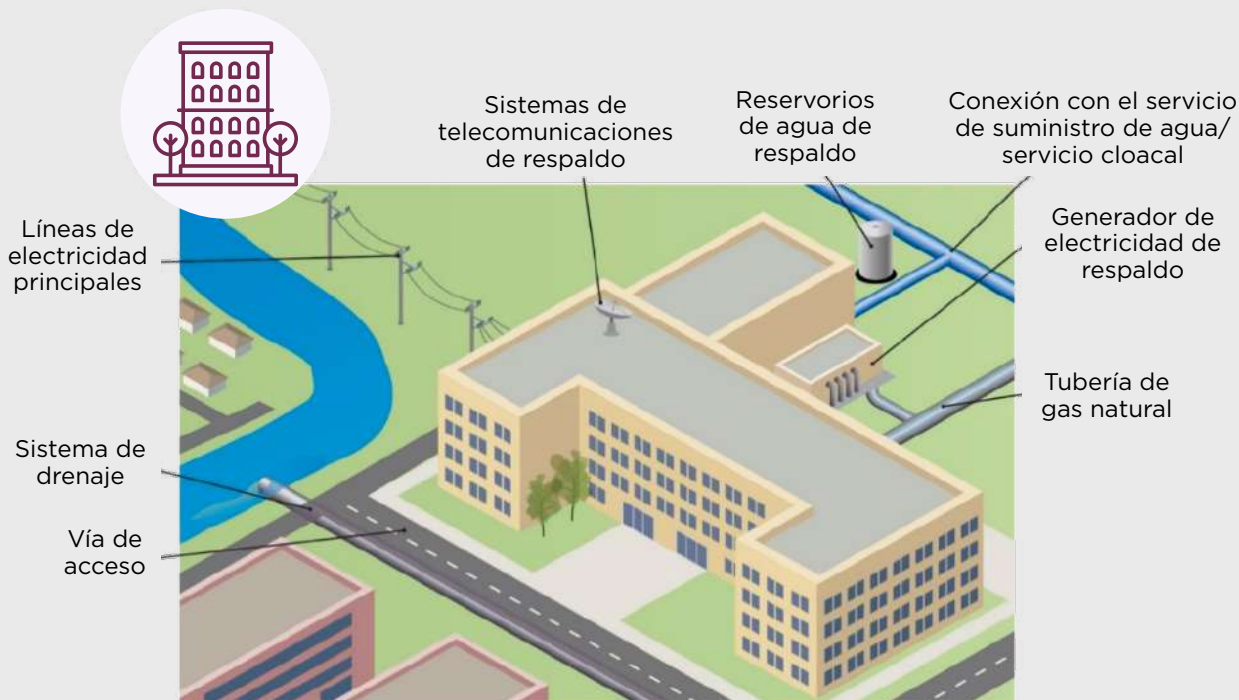


Gráfico de criticidad

A diferencia de los tres ejemplos anteriores, este subsector no tiene un gráfico de criticidad terminado, pero se brinda cierta orientación preliminar y general, en particular sobre el proceso de razonamiento y ejemplos de parámetros que puede ser importante considerar.

Aspectos que guiaron el análisis de criticidad: Infraestructura social

A continuación se enumeran los aspectos identificados como relevantes para el análisis orientado a evaluar la criticidad y vulnerabilidad de infraestructura social, que ayudarán a elaborar la tabla de criticidad. El análisis de estos aspectos con expertos del sector dará como resultado la creación de una tabla que integra algunos de estos parámetros y permite una categorización de los niveles de criticidad y vulnerabilidad. Nótese que la información presentada en la siguiente tabla procede de las mejores prácticas internacionalmente aceptadas y se basa en el mejor juicio profesional.

Tabla 4.11. Categorización indicativa de criticidad y vulnerabilidad para infraestructura social

Características clave	Baja	Moderada	Alta
Superficie cubierta por el servicio (km ²)	<2	2 a 30	>30
Población beneficiada (personas)	<300	300 a 3.000	>3.000
Capacidad de la infraestructura (personas)	<50	50 a 500	>500
Tamaño del/de los edificio/s (m ²)	<100	100 a 3.000	>3.000
Cantidad de personal de la infraestructura crítica activo durante el fenómeno	<10	10 a 50	>50
Métodos de comunicación	Vastos y redundantes	Redundantes	Limitados

Nótese que (i) estos valores provienen de opinión experta brindada por TetraTech y (ii) los parámetros son meramente ilustrativos, ya que podrán variar dependiendo del contexto.

4.2.4 Resultados de la Fase I

Como ya se mencionó, el principal resultado de esta fase es una clasificación del riesgo de desastres y cambio climático del proyecto. Esta clasificación tiene tres valores posibles: Bajo, Moderado o Alto. Para establecer una clasificación, es necesario considerar y ponderar utilizando el mejor juicio profesional aspectos acerca de la exposición del proyecto a amenazas naturales, la intensidad de las amenazas (Paso 1) y la criticidad del proyecto (Paso 2) para lograr una valoración integral de las condiciones de riesgo. Asimismo, si como resultado del Paso 2 y de la ponderación de todos los aspectos de riesgo se modifica la clasificación preliminar obtenida en el Paso 1, entonces es necesario actualizar el Formulario de Screening para reflejar la clasificación resultante.

Esta clasificación de riesgo de desastres y cambio climático constituye la base del proceso proporcional y escalable que sigue, dado que sirve para priorizar los esfuerzos y requerimientos necesarios en la ejecución de posteriores evaluaciones de riesgo de desastres y cambio climático. Siguiendo esta lógica, y de acuerdo con la Política, si la operación es clasificada como de bajo riesgo, puede abandonar el proceso en esta instancia; todas las demás deben pasar a la Fase 2.

Por último, cabe destacar que el objetivo del proceso de screening es proporcionar un **primer** panorama del nivel de riesgo de desastres y cambio climático de los proyectos abordando los tres componentes del riesgo. La finalidad es que los especialistas y los miembros del equipo **tomen conciencia** de estos riesgos y puedan **identificar** de forma preliminar las amenazas naturales y características del proyecto en las que deberán centrar su atención. A partir de ello, podrán **comenzar** a investigar estos riesgos en mayor detalle. Este análisis, realizado con fines de screening, no constituye bajo ningún punto de

vista una evaluación final del riesgo de desastres y cambio climático.

4.2.5 Ejemplo: Evaluación de la criticidad y vulnerabilidad del proyecto - Proyecto agrícola

Un proyecto sobre agricultura e innovación agroforestal en el Caribe fue clasificado como de Alto riesgo en el Paso 1 del proceso de screening por estar situado en un país con elevada exposición a amenazas naturales, que incluyen terremotos, huracanes e inundación, entre otras¹⁴. El objetivo del proyecto era la promoción de agricultura sostenible a través de la provisión de distintos paquetes tecnológicos agrícolas. Los paquetes tecnológicos del proyecto consistieron en su mayoría en proveer semillas y otras herramientas de pequeña escala (carretas de tracción animal) para manejo del suelo agrícola; el proyecto no incluyó obras de infraestructura de irrigación de gran escala. Por lo tanto, al agregar la perspectiva de criticidad y vulnerabilidad del proyecto, y considerando el hecho de que el proyecto no era altamente vulnerable a las amenazas naturales, la clasificación se corrigió como riesgo Moderado¹⁵. Este ejemplo muestra cómo el Paso 2 sirve para corregir el análisis parcial del Paso 1 que solo ve un componente del riesgo.

¹⁴ Según las Directrices de la Política "Generalmente, se clasificará un proyecto como de alto riesgo si una o más de las amenazas naturales considerables puede ocurrir varias veces durante el período de ejecución (construcción) o la vida operacional del proyecto o durante ambas, o si la posible gravedad de los impactos sociales, económicos o ambientales, en el corto a mediano plazo, es grande o extrema."

¹⁵ Según las Directrices de la Política "Generalmente, se clasificará un proyecto con riesgo moderado si una o más de las amenazas naturales predominantes puede ocurrir una vez, por lo menos, durante el período de ejecución (construcción) o la vida operacional del proyecto o durante ambas, o si la posible gravedad del impacto, en el corto a mediano plazo, es media. Generalmente, esos impactos se limitan al lugar del proyecto y es posible mitigarlos a un costo razonable."

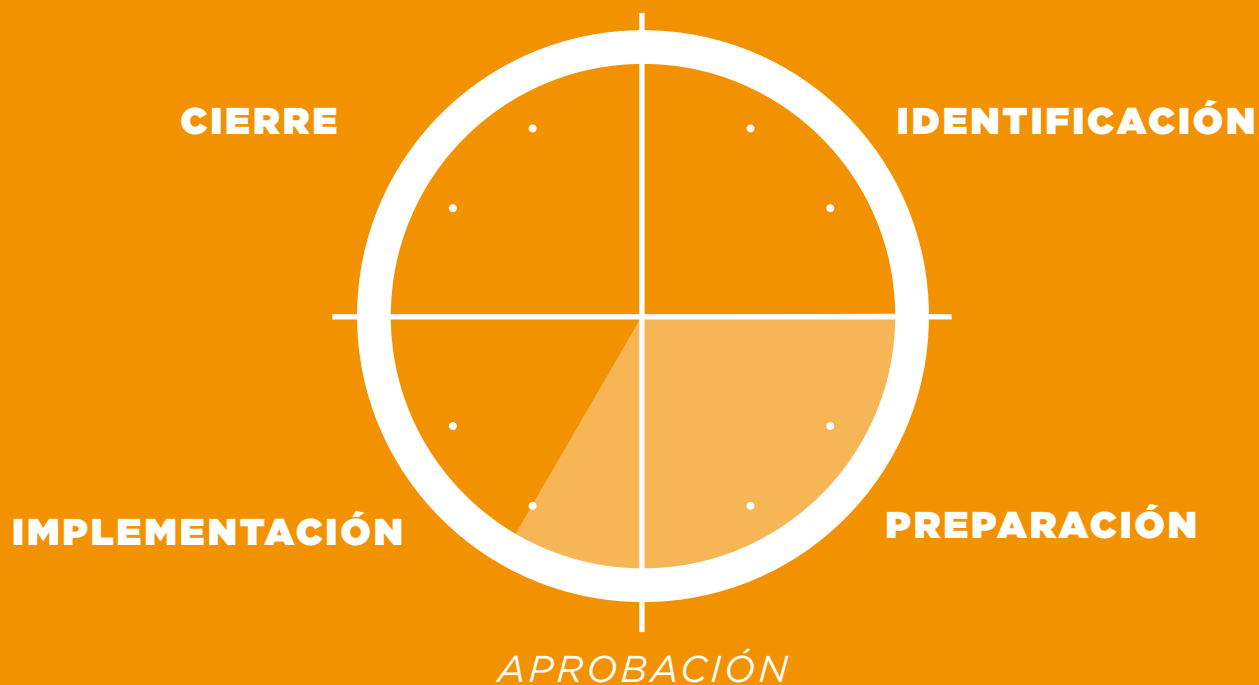


5.

Fase II: Evaluación Cualitativa

.....

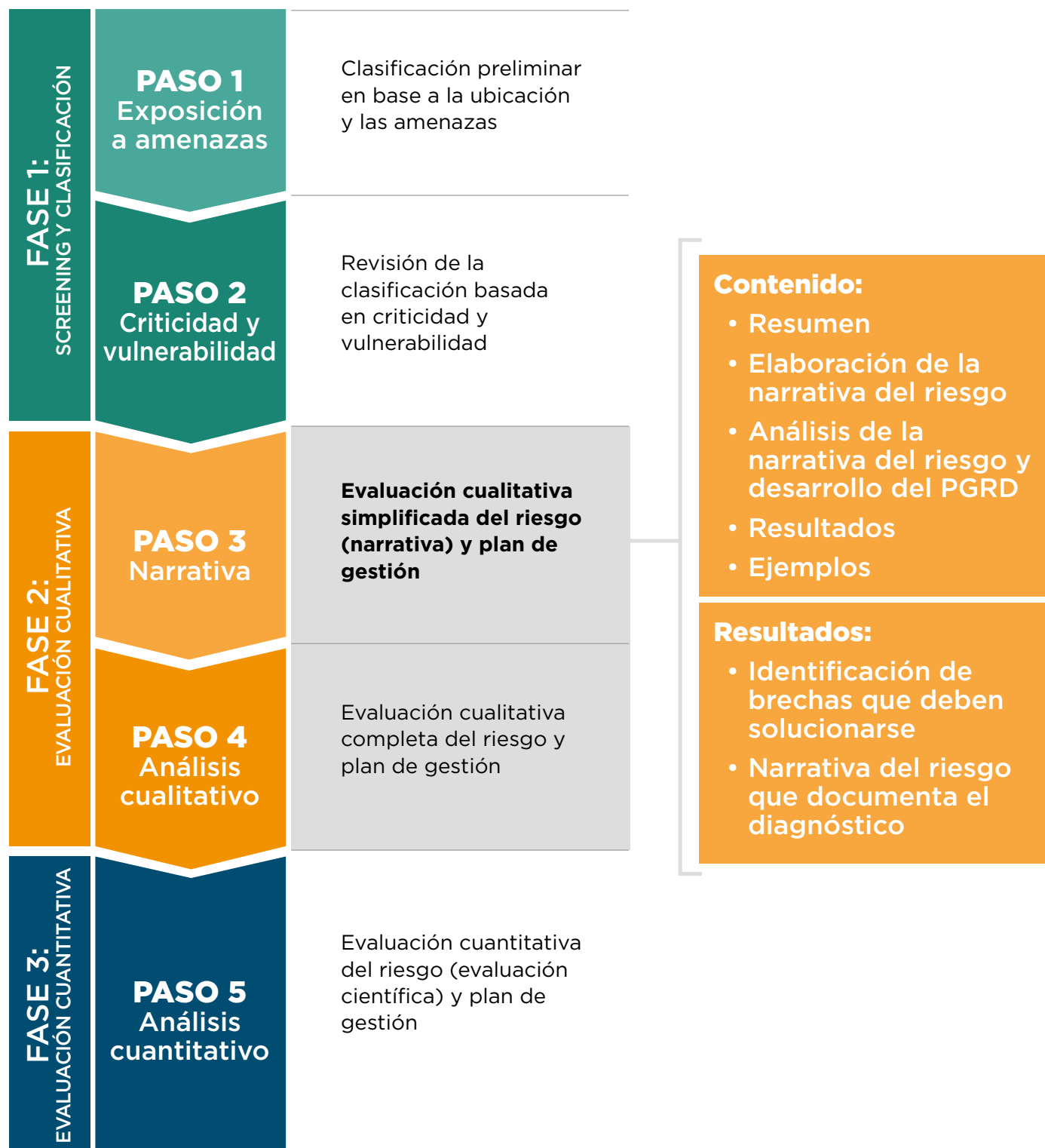
Esta Fase se debe realizar cuando ya exista una mayor definición sobre el proyecto. Dentro de esta Fase, el primer paso debe ocurrir antes de la Aprobación (durante la etapa de Preparación), pero el segundo paso puede ocurrir durante las etapas iniciales de Implementación si los detalles necesarios sobre el proyecto solo se conocerán más adelante.



5. Fase II - Evaluación cualitativa

5.1 Paso 3 - Evaluación cualitativa simplificada del riesgo (narrativa del riesgo) y plan de gestión del riesgo

Figura 5.1. Paso 3



5.1.1 Resumen

Este tercer paso de la Metodología constituye un diagnóstico de la concepción del proyecto en términos de riesgo de desastres y cambio climático. Es el primer paso que, luego de realizar un screening de alto nivel, indaga con mayor profundidad acerca del proyecto y comienza a investigar este tema en más detalle.

Este paso debe realizarse cuando existe información y conocimiento básico (mínimo) pero específico sobre el diseño del proyecto. El objetivo del Paso 3 es tener este diagnóstico como una evaluación de riesgo cualitativa inicial, o simplificada, y documentarlo durante la preparación del proyecto, antes de su aprobación, aunque también podría actualizarse después, cuando se recopile información más precisa sobre el diseño del proyecto y/u otros estudios.

En resumen, este diagnóstico busca determinar si la concepción actual del proyecto (al momento de realizar el diagnóstico, en general al inicio de la preparación del proyecto cuando la información básica está disponible) incluye consideraciones adecuadas y suficientes para reducir los riesgos existentes y futuros. Esto se documenta mediante un texto o una narrativa simple y breve, motivo por el cual este paso se denomina “narrativa del riesgo”.

Únicamente los proyectos de riesgo Moderado tienen la opción de finalizar y salir de la Metodología en este paso si ciertas condiciones se cumplen; los proyectos de Alto riesgo, por el contrario, deben necesariamente continuar al Paso 4, como mínimo (véase la Figura 3.1). Esto significa que en el caso de proyectos de riesgo Moderado, si la narrativa del riesgo concluye que las consideraciones de diseño existentes reducen o gestionan los riesgos actuales y futuros en un nivel tolerable, entonces el proyecto no necesita pasar al siguiente paso. Por el contrario, si la narrativa del riesgo identifica déficits, es decir, que las consideraciones existentes no son suficientes o pasan por alto algunos aspectos, será necesario estudiarlos y el proyecto debe continuar al Paso 4 (como lo haría cualquier proyecto de riesgo Alto).

Para elaborar la narrativa del riesgo y determinar si el diseño y los planes de gestión actuales del

proyecto mitigarían de forma adecuada los riesgos existentes y futuros, se deberá realizar dos tareas principales. La primera consiste en recopilar y analizar los datos sobre amenazas, vulnerabilidad y riesgo, incluyendo consideraciones sobre cambio climático, junto con los estudios existentes y sistemas de gestión de riesgo específicos del proyecto o del área donde el proyecto está emplazado. La segunda tarea consiste en analizar los datos recopilados y determinar si son suficientes para mitigar el riesgo para el proyecto en sí, como así también para las comunidades aledañas y el medio ambiente (asegurándose de que los riesgos preexistentes para terceros no sean exacerbados).

5.1.2 Elaboración de la narrativa del riesgo

Como guía para la elaboración de la narrativa, se puede preparar una serie de preguntas para compartir con el equipo de trabajo y/o la contraparte local, es decir, la agencia ejecutora. Las respuestas a esas preguntas deberían proporcionar la información necesaria para desarrollar una narrativa del riesgo que enuncie la información existente y el modo en que el riesgo de desastres y cambio climático está siendo abordado a nivel del proyecto, y permitir al mismo tiempo identificar las brechas clave que deben revisarse y requieren de mayor análisis (y si es necesario avanzar hacia el Paso 4). A continuación se explica paso a paso el proceso de elaboración de la narrativa del riesgo.

Revisión de estudios e informes existentes que abordan el riesgo de desastres y cambio climático

El primer paso al evaluar el riesgo en un proyecto es revisar los estudios relevantes desarrollados en el área del proyecto. Para ello, el equipo del proyecto, con el apoyo del especialista en desastres y/o cambio climático, debe preguntar a la agencia ejecutora y/o al equipo de ingenieros si existen estudios previos sobre el riesgo para los activos existentes y/o propuestos.

La revisión de informes existentes y el análisis correspondiente con la agencia ejecutora deben abordar todas las amenazas que podrían afectar al proyecto. Puede ocurrir que una amenaza esté muy bien estudiada y ya incluida en el diseño, mientras que otras

que afectan al proyecto ni siquiera hayan sido tenidas en cuenta. Por lo tanto, es muy importante considerar todas las amenazas que afectan al proyecto, la criticidad y vulnerabilidad del proyecto propuesto y las condiciones de riesgo en las zonas aledañas.

Puede ocurrir que ya existan estudios en el área de intervención (aunque no correspondan al proyecto propuesto) y se hayan elaborado algunos modelos o estudios de las principales amenazas que afectan el área geográfica o la ciudad, población, municipalidad, cuenca, etc. Es posible que esos estudios también recojan información relevante sobre las características de la comunidad que habita en la zona, incluida su vulnerabilidad.

También es importante preguntar tanto a la agencia ejecutora como a la empresa de ingeniería si

el diseño actual ya incorpora medidas de reducción de riesgo. Puede ocurrir que ya las incorpore porque el proyecto propuesto se rige por normas internacionales o códigos de construcción existentes o bien como resultado de estudios ya realizados en el área del proyecto.

Indagación sobre amenazas relevantes

La Tabla 5.1 incluye consideraciones y preguntas orientativas que se podrían formular al recopilar información para elaborar la narrativa del riesgo. Las preguntas han sido categorizadas por tipo de amenaza y se ha incluido también una segunda guía (Recuadro 5.1) para ayudar en la indagación acerca del efecto que podría tener el cambio climático sobre estas amenazas.

Tabla 5.1. Preguntas orientativas acerca de información clave sobre las amenazas

Amenaza	¿Cómo se consideraron las amenazas?	¿A qué parámetros debe ajustarse el diseño del proyecto?
Inundación costera	<ul style="list-style-type: none"> ¿Se evaluaron los niveles de oleaje, marea y agua? ¿Se caracterizó la costa? ¿Se identificaron fenómenos previos? 	¿El proyecto incluyó extensión, velocidad y profundidad de la inundación como parámetros de diseño?
Inundación por desbordamiento de río	<ul style="list-style-type: none"> ¿Se caracterizó la costa? ¿Se caracterizó la hidráulica? ¿Se identificaron fenómenos previos? 	¿El proyecto incluyó extensión, velocidad y profundidad de la inundación como parámetros de diseño?
Viento huracanado	<ul style="list-style-type: none"> ¿Se registró la vegetación y la rugosidad superficial? ¿Se identificaron fenómenos previos? 	¿El proyecto incluyó la velocidad del viento como parámetro de diseño?
Marea de tormenta de huracán	<ul style="list-style-type: none"> ¿Se evaluaron los niveles de oleaje, marea y agua? ¿Se caracterizó la costa? ¿Se identificaron fenómenos previos? 	¿El proyecto incluyó extensión, velocidad y profundidad de la inundación como parámetros de diseño?
Tsunami	<ul style="list-style-type: none"> ¿Se evaluaron los niveles de oleaje, marea y agua? ¿Se caracterizó la costa? ¿Se identificaron fenómenos previos? 	¿El proyecto incluyó extensión, profundidad y flujo del tsunami como parámetros de diseño?
Deslizamiento de tierra	<ul style="list-style-type: none"> ¿Se calculó la pendiente? ¿Se identificaron los tipos de suelo? ¿Se determinó la vegetación y la cobertura terrestre? ¿Se identificaron fenómenos previos? 	¿El proyecto incluyó áreas de susceptibilidad como parámetro de diseño?
Incendio	<ul style="list-style-type: none"> ¿Se identificaron fuentes de combustible? ¿Se analizó la meteorología? ¿Se identificaron fenómenos previos? 	¿El proyecto incluyó áreas de susceptibilidad como parámetro de diseño?
Sequía	<ul style="list-style-type: none"> ¿Se analizó la meteorología? ¿Se identificaron las fuentes de agua? ¿Se identificaron fenómenos previos? 	¿El proyecto incluyó áreas de susceptibilidad como parámetro de diseño?
Volcán	<ul style="list-style-type: none"> ¿Se definieron las zonas expuestas a flujo de lahares? ¿Se identificaron fenómenos previos? 	¿El proyecto incluyó áreas de susceptibilidad como parámetro de diseño?
Terremoto	<ul style="list-style-type: none"> ¿Se identificaron los tipos de suelo? ¿Se determinó el potencial de licuefacción? ¿Se caracterizó el movimiento del terreno? ¿Se identificaron fenómenos previos? 	¿El proyecto incluyó el movimiento del terreno como parámetro de diseño?
Ola de calor	<ul style="list-style-type: none"> ¿Se analizó la meteorología? ¿Se identificaron fenómenos previos? 	¿El proyecto incluyó áreas de susceptibilidad como parámetro de diseño?

Recuadro 5.1. Indagar sobre la consideración del cambio climático en el diseño del proyecto

Numerosos tipos de amenazas proceden de la interacción del diseño del proyecto y fenómenos meteorológicos severos o condiciones climáticas anormales. El análisis de amenazas en el diseño ingenieril se suele basar en evidencia empírica obtenida de datos del pasado y se asume que la frecuencia de fenómenos extremos que probablemente se observe en el futuro puede inferirse con base en el registro histórico. Esto implica que el clima es estacionario - un supuesto que constituyó el fundamento de la planificación de infraestructura durante décadas. No obstante, los cambios proyectados en el clima futuro, que incorporan la influencia de la actividad antropogénica, implican que los supuestos de estacionariedad del clima ya no son válidos (Milly y otros, 2008). Comentando sobre la “muerte de la estacionariedad”, Galloway (2011, pág. 1) destacó que “existe también una gran necesidad de proporcionar a quienes trabajan en este campo la información que necesitan para planificar, diseñar y operar los proyectos de hoy (y del mañana).”

Este Paso supone también determinar si se integraron consideraciones sobre cambio climático en la modelación de amenazas o en los supuestos acerca de las amenazas. No es suficiente considerar únicamente las amenazas climáticas con base en datos climáticos históricos; por el contrario, al evaluar las amenazas también es necesario considerar la disponibilidad de proyecciones de cambios en el clima futuro. Pregunta al equipo a cargo del diseño si se tomó en consideración el posible cambio climático con relación a cada amenaza preocupante y cómo. Podrían existir diferentes respuestas a esta pregunta en relación con diferentes consideraciones sobre cambio climático. Las siguientes son algunas de las preguntas que puedes utilizar para indagar acerca de cómo se analizó el cambio climático:

- ¿El nivel de protección se determinó mediante un proceso de diseño ingenieril estándar, como la utilización de curvas de intensidad, duración y frecuencia (IDF) provistas por organismos o autoridades locales, estatales o federales?
- ¿Qué oportunidades hubo durante el proceso de diseño para considerar otra información climática en la ERD?
- ¿El proceso de diseño permitió la implementación de procedimientos alternativos como curvas IDF revisadas que reflejan condiciones climáticas futuras con base en un análisis/síntesis de los resultados de modelos climáticos? En caso afirmativo, examina los métodos y enfoques. ¿El nivel de protección procedió de un análisis basado en resultados detallados de modelos climáticos? En caso afirmativo, ¿cuáles y qué datos se utilizaron?
- ¿Qué supuestos se adoptaron al seleccionar los resultados de modelos climáticos? Por ejemplo, ¿qué Trayectorias de Concentración Representativas (RCP, por sus siglas en inglés) se escogieron? Las proyecciones de los modelos climáticos globales realizan suposiciones respecto de concentraciones futuras de gases de efecto invernadero, en las que mayores emisiones suelen implicar mayores magnitudes de futuros cambios climáticos.
- ¿Los resultados de los modelos climáticos fueron sometidos a downscaling para representar condiciones locales y la escala temporal de interés? (Por ejemplo, el análisis de inundaciones urbanas puede requerir proyecciones de precipitaciones horarias). En caso afirmativo, ¿cuál fue el método? ¿Se realizó un nuevo análisis de downscaling o se utilizaron datos de un repositorio existente?
- ¿Se desarrollaron proyecciones sobre el clima futuro o se las obtuvo mediante la aplicación de un procedimiento de downscaling basado en resultados de modelos climáticos globales? ¿Cuál fue la naturaleza del procedimiento de downscaling? ¿Los datos fueron evaluados de forma adecuada utilizando principios científicos/estadísticos adecuados?
- ¿El nivel de protección procedió de conclusiones de un resumen de proyecciones climáticas regionales, como un informe del IPCC? En caso afirmativo, ¿qué resumen y qué datos se utilizaron?
- ¿El nivel de protección procedió de recomendaciones de expertos? En caso afirmativo, ¿qué supuestos se adoptaron?
- ¿El nivel de protección procedió de una ERD previa o de otro proceso de diseño que incorpora condiciones climáticas en el área local? En caso afirmativo, ¿cuáles?
- ¿El nivel de protección procedió de un escenario climático pesimista? En caso afirmativo, describe el escenario y justifica por qué el escenario representa un caso verdaderamente pesimista en condiciones climáticas futuras. ¿Qué métodos estadísticos se utilizaron para desarrollar la nueva información?

Un segundo factor a considerar es la vida útil prevista del proyecto. Un proyecto de infraestructura temporal que quedará fuera de servicio en pocos años no merece un análisis sobre cambio climático tan detallado como el que debe realizarse para infraestructura cuya utilización se proyecta para varias décadas o más. Se debe tener en cuenta la selección del modelo climático y RCP. El Apéndice E ofrece un breve resumen sobre consideraciones y conceptos clave sobre Cambio Climático.

Indagación sobre consideraciones de diseño

En ocasiones los diseños ingenieriles ya consideran las amenazas que podrían afectar al proyecto. Puede ocurrir que ya se conozcan la zona y los fenómenos que pueden ocurrir de forma recurrente o que se implementen normas internacionales como una buena práctica, o bien que se sigan normas o códigos nacionales establecidos por ley. Sin embargo, en el caso de algunas amenazas es necesario indagar más.

Al diseñar infraestructura sismorresistente, los ingenieros pueden recurrir al código de construcción nacional. En algunos países la legislación es muy estricta y en otros los códigos están desactualizados. Por este motivo, es recomendable revisar cuáles son los códigos propuestos para el diseño.

Para incluir otros tipos de amenaza en el diseño, como inundación, por ejemplo, se requiere de una mayor investigación sobre los parámetros hidrológicos e hidráulicos. Para ello, es muy importante conocer qué métodos de análisis han sido utilizados, qué periodos de retorno de diseño fueron adoptados en el análisis y si se realizó un análisis de frecuencia de inundaciones. Es muy importante indagar si el cambio climático fue incorporado al análisis, y en caso afirmativo, cómo. También es importante indagar si se incorporaron curvas de IDF en el diseño.

Si el proyecto se ve afectado por deslizamientos de tierra, es importante preguntar si se incorporaron medidas de estabilización de taludes como parte del diseño y de qué modo se lo hizo. Es posible que otras amenazas que afectan al proyecto también requieran la incorporación de consideraciones sobre cambio climático, entre ellas, olas de calor, incendios, o si el proyecto está situado en una zona costera o sobre la margen de un río, aumento del nivel del mar o inundaciones de origen pluvial y fluvial, respectivamente. La sección **Cuantificación del componente de amenaza** en el Paso 5 muestra cómo incorporar el cambio climático a diferentes tipos de amenazas.

También es importante indagar acerca de medidas de gestión del riesgo no estructurales como

estándares específicos, instrumentos regulatorios, herramientas de planificación (como planes de ordenamiento territorial) y sistemas de alerta temprana dado que, a pesar de que la incorporación del riesgo de desastres y cambio climático en el diseño del proyecto puede atender una gran proporción del riesgo, no necesariamente es capaz de reducirlo por completo, dejando así un riesgo residual. Esto no refleja un mal diseño, simplemente está relacionado con el nivel de riesgo tolerable que cualquier diseño asume de manera inherente con el uso de códigos de diseño y periodos de retorno. Esto significa que las medidas adicionales no estructurales, como sistemas de alerta temprana entre otros, y los sistemas de respuesta pueden ser necesarios para atender ese riesgo residual. Dentro de los sistemas de respuesta es importante indagar también acerca de planes de contingencia, emergencia y continuidad de negocio existentes para todas las etapas del ciclo de proyecto – construcción, operación y cierre de actividades. Por lo tanto, el análisis debe preguntar por la existencia de cualquiera de estas medidas en el área de proyecto y para las amenazas relevantes.

No obstante, el hecho de que ya existan instrumentos adecuados implementados en la zona no es suficiente; es muy importante entender cuáles son las entidades responsables ante una emergencia y considerar su capacidad. Puede ocurrir que ya exista una entidad institucional local responsable, como un centro de respuesta ante emergencias, o un sistema coordinado que incluya bomberos y otros organismos o ministerios para actuar ante un suceso debido a una amenaza natural. Es extremadamente importante tener un mapa completo de los actores involucrados y sus capacidades para poder conocer y entender las limitaciones de un proyecto en materia de riesgo de desastres y cambio climático durante su construcción y operación. La identificación de los tipos de instrumentos mencionados anteriormente y de las entidades responsables es sumamente útil para evaluar la capacidad de gobernanza local y a la hora de construir el plan de gestión del riesgo.

Indagación sobre el riesgo incremental

En ocasiones la ubicación o las características propias del proyecto pueden generar riesgo adicional

para las comunidades aledañas y el medio ambiente. En la Narrativa del Riesgo es muy importante recopilar información sobre este riesgo incremental. El equipo del proyecto debe preguntar a la agencia ejecutora acerca de si el proyecto podría exacerbar (con respecto a la línea de base) el riesgo a través de una agravación de las condiciones de amenaza, exposición o vulnerabilidad.

Puede ocurrir que el proyecto en sí modifique las condiciones de exposición de su área de influencia directa e indirecta. Quizás la presencia del proyecto podría aumentar de forma significativa los riesgos para la población o sus activos, y podrían resultar

más expuestos a amenazas naturales. También, en ocasiones la presencia del proyecto puede generar mayor vulnerabilidad para los trabajadores, la comunidad y el medio ambiente en caso de ocurrir un suceso debido a una amenaza natural.

La Tabla 5.2 presenta ejemplos de cómo el proyecto puede agravar los riesgos que pueden impactar al proyecto en sí, al medio ambiente, a los trabajadores o a la comunidad. Algunas actividades del proyecto se vinculan con amenazas específicas. Por ejemplo, remover vegetación de una zona puede ocasionar mayor vulnerabilidad y exposición a inundación, deslizamiento de tierra o daño causado por el viento.

Tabla 5.2. Posibles formas en que las actividades y los componentes del proyecto podrían intensificar los riesgos

Tipo de proyecto	Componente del proyecto	Ejemplos de posibles formas en que las actividades del proyecto podrían causar o exacerbar riesgos
Suministro de agua	Planta de tratamiento de agua	<ul style="list-style-type: none"> • La remoción de vegetación puede exacerbar las inundaciones, los deslizamientos de tierra y los daños producidos por viento producto de huracanes. • La utilización de superficies impermeables puede exacerbar la inundación y aumentar los efectos de isla de calor. • Los equipos mecánicos y demás equipos e insumos relacionados pueden transformarse en proyectiles o escombros durante fuertes tormentas de viento. • Los tanques y otros equipos de gran porte pueden desplazarse y destruir otras propiedades durante mareas de tormenta o tsunamis.
	Tanque de almacenamiento	<ul style="list-style-type: none"> • La falla, la ruptura o el desbordamiento del tanque de almacenamiento puede ocasionar una inundación de pequeña escala que afecte instalaciones o estructuras cercanas
	Red de distribución	<ul style="list-style-type: none"> • La ruptura de la tubería de agua principal puede ocasionar una inundación de pequeña escala que afecte instalaciones o estructuras cercanas • La red de agua podría causar una interrupción en el suministro de agua
	Instrumental y controles	<ul style="list-style-type: none"> • Los equipos eléctricos pueden representar un peligro de descarga eléctrica durante inundaciones e incluso vientos excesivos
Gestión de aguas residuales	Planta de tratamiento de aguas residuales	<ul style="list-style-type: none"> • La remoción de vegetación puede exacerbar las inundaciones, los deslizamientos de tierra y los daños producidos por el viento producto de huracanes, y aumentar los efectos de isla de calor. • La utilización de superficies impermeables puede exacerbar la inundación y aumentar los efectos de isla de calor. • Los equipos mecánicos y demás equipos e insumos relacionados pueden transformarse en proyectiles o escombros durante fuertes tormentas de viento. • Los tanques y otros equipos de gran porte pueden desplazarse y destruir otras propiedades durante mareas de tormenta o tsunamis. • Los desbordes de aguas residuales no tratadas durante inundaciones pueden propagar organismos patógenos, exacerbando los riesgos para la salud pública. • El vertido de efluentes de aguas residuales en lugar de su reutilización puede exacerbar la escasez de agua, en particular durante inundaciones.
	Estación de bombeo	<ul style="list-style-type: none"> • Los desbordes de aguas residuales no tratadas durante inundaciones pueden propagar organismos patógenos, exacerbando los riesgos para la salud pública.
	Campo séptico	<ul style="list-style-type: none"> • La remoción de árboles puede exacerbar las inundaciones y los daños producidos por el viento producto de huracanes.
	Red cloacal	<ul style="list-style-type: none"> • La remoción de árboles puede exacerbar las inundaciones y los daños producidos por el viento producto de huracanes. • Los desagües cloacales pueden actuar como conductos por los que el agua de inundación (mezclada con aguas servidas) puede ingresar a las viviendas y otros edificios, sin una protección adecuada contra reflujo.

Tipo de proyecto	Componente del proyecto	Ejemplos de posibles formas en que las actividades del proyecto podrían causar o exacerbar riesgos
Drenaje	Red de drenaje de aguas pluviales	<ul style="list-style-type: none"> • Todos los sistemas de aguas pluviales pueden obstruirse y causar inundación si no se les realiza mantenimiento adecuado y periódico. Las cisternas y los alcorques son el mayor peligro porque suelen instalarse cerca de los edificios. • La infraestructura de drenaje de aguas pluviales que se inunda o no recibe mantenimiento adecuado puede representar un riesgo para la salud (enfermedades transmitidas por vectores o por el agua) y la seguridad (ahogamiento) de los seres humanos.
	Vía de asfalto	<ul style="list-style-type: none"> • Durante la ampliación de una vía, es posible que los terraplenes requieran de excavación e incluso de la remoción de vegetación que podría exacerbar los deslizamientos de tierra y tener otros efectos (drenaje). • La utilización de superficies impermeables puede exacerbar el riesgo de inundación.
Transporte	Puente/alcantarilla	<ul style="list-style-type: none"> • Si el puente se encuentra mal diseñado, con bordo libre insuficiente, ello podría restringir el flujo y acumular escombros, exacerbando el riesgo de la inundación y de los escombros. • Podría elevar el nivel de aguas corriente arriba si la abertura no es del tamaño adecuado, ocasionando inundación. De igual modo, es necesario considerar las estructuras y los niveles de aguas corriente abajo, por ejemplo, si el diseño prevé un periodo de retorno menor.
	Muros/terraplenes	<ul style="list-style-type: none"> • Los muros de retención pueden causar daños significativos a la propiedad y/o a las instalaciones tanto dentro como fuera de la servidumbre de paso de la vía en caso de ocurrir una falla. • Los terraplenes pueden causar daños a las propiedades adyacentes por sedimentación de suelo erosionado o por desprendimiento de roca desde taludes de terraplén con pendiente pronunciada. • Puede ocurrir una erosión importante del talud de relleno cuando la alcantarilla se obstruye, el agua sobrepasa la vía y causa una erosión repentina y extendida del relleno del lado de la pendiente del terraplén. • Los terraplenes con drenaje inadecuado pueden contener la escorrentía del agua superficial de un lado causando inundación temporaria o a largo plazo de suelos agrícolas/forestales, ocasionando pérdidas económicas. • Las vías construidas a lo largo de antiguos deslizamientos de tierra pueden iniciar movimientos lentos de reptación en grandes bloques de suelo que pueden afectar las propiedades adyacentes al romper instalaciones de servicios básicos situadas bajo tierra y ocasionar el resquebrajamiento constante de vías y edificios adyacentes a la vía. La falla repentina de estos terraplenes puede ocasionar daños considerables a la propiedad y pérdida de vidas.
	Túnel	<ul style="list-style-type: none"> • La excavación de un túnel puede alterar el régimen hidrológico y afectar potencialmente pozos y cursos de agua. • El hundimiento debido a una deficiente construcción del túnel puede causar asentamiento diferencial y afectar la integridad de las estructuras por encima del túnel, ya sea bajo tierra o en la superficie, y puede ocasionar deslizamiento de tierra.
Represas hidroeléctricas e irrigación	Represas/estructuras de retención de agua grandes	<p>Muchos esquemas hidroeléctricos requieren de estructuras de retención de agua mayores, típicamente una represa (pueden variar entre represas pequeñas de sobrevertido hasta grandes represas con embalses importantes), las cuales están sujetas a amenazas hidrológicas, sísmicas y de deslizamientos (en el embalse), así como también a mecanismos de falla inherentes detonados por elementos geológicos, deficiencias en los diseños, problemas de construcción o fallas de operación, etc. Todas las anteriores pueden resultar en una liberación incontrolada y catastrófica de agua que puede afectar propiedades, el medio ambiente y bienes culturales, así como vidas humanas.</p> <ul style="list-style-type: none"> • La construcción de una represa nueva puede cambiar el perfil de riesgo de las comunidades aguas abajo las cuales ahora podrán sufrir inundaciones mayores en caso de rotura de la represa, a pesar de que la probabilidad de esto es muy baja. • Durante la construcción, estructuras temporales usadas para desviar el flujo de agua pueden fallar frente a eventos hidrometeorológicos extremos y pueden inundar comunidades aledañas.

Tipo de proyecto	Componente del proyecto	Ejemplos de posibles formas en que las actividades del proyecto podrían causar o exacerbar riesgos
Infra-estructura social	Infraestructura	<ul style="list-style-type: none"> • La remoción de vegetación puede exacerbar las inundaciones, los deslizamientos de tierra y los daños producidos por el viento producto de huracanes, y aumentar los efectos de isla de calor. • La utilización de superficies impermeables puede exacerbar la inundación y aumentar los efectos de isla de calor. • Los equipos mecánicos y demás equipos e insumos relacionados pueden transformarse en proyectiles o escombros durante fuertes tormentas de viento. • Durante un suceso debido a una amenaza natural podrían liberarse (hacia el agua o aire) insumos para la salud y residuos (incluso residuos peligrosos), lo que exacerbaría los riesgos para la salud pública.

5.1.3 Análisis de la narrativa del riesgo y desarrollo de un Plan de Gestión de Riesgo de Desastres (PGRD)

Análisis de la narrativa del riesgo

Con base en la información recopilada en las secciones anteriores, se debe resumir todos los hallazgos identificando claramente qué se hizo y no requiere profundización, así como los déficits identificados y una recomendación sobre los pasos a seguir para solucionarlos. Con respecto al diseño actual y posibles medidas existentes, se debe evaluar si son adecuados. Esta sección provee orientación sobre cómo determinar este aspecto.

Ejemplos ilustrativos de estándares de tolerabilidad basados en buenas prácticas internacionales

Las consideraciones generales incluidas en las tablas que siguen pueden utilizarse para orientar el proceso de razonamiento y determinar si las medidas de mitigación que se identificaron en el diseño son adecuadas. Las tablas presentadas a continuación ofrecen rangos y criterios indicativos para los seis tipos de proyecto identificados anteriormente. Es importante tener en cuenta que se trata de buenas prácticas que se implementan a nivel internacional y no constituyen lineamientos obligatorios.

Esta información deberá ser utilizada como ayuda para evaluar si las medidas de mitigación de riesgo son adecuadas. Nótese que estas tablas tienen fines ilustrativos y su objetivo no es reflejar la política o la práctica del BID. Es necesario consultar al equipo a cargo del diseño, como así también a ingenieros independientes.



Tabla 5.3. Infraestructura social

Amenaza/s	Rangos críticos y criterios ilustrativos
Inundación, marea de tormenta, tsunami	<ul style="list-style-type: none"> • Toda la infraestructura crítica, incluidas las vías de acceso, debe diseñarse para estar protegida como mínimo hasta el cota de inundación con periodo de retorno de 100 años o la inundación máxima registrada. La autoridad regulatoria local puede establecer un factor de bordo libre, de 600 mm por ejemplo.
Sequía	<ul style="list-style-type: none"> • La infraestructura crítica debe tener y asegurar una fuente alternativa de suministro de agua en caso de interrupción del suministro normal (red de suministro de agua municipal o pozo dentro del predio). Con respecto a la infraestructura de cuidados críticos, se debe considerar la posibilidad de instalar tanques de almacenamiento de agua temporal o mantener un stock de agua envasada.
Terremoto	<ul style="list-style-type: none"> • Las estructuras y los edificios de instalaciones críticas deben estar diseñados y construidos para soportar la fuerza sísmica mínima establecida por la normativa local o por el Código de Construcción Internacional.
Viento huracanado	<ul style="list-style-type: none"> • Las estructuras y los edificios de instalaciones de suministro de agua deben estar diseñados y construidos para soportar las cargas de viento mínimas establecidas por la normativa local o por el Código de Construcción Internacional.



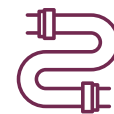
Tabla 5.4. Drenaje

Componente del proyecto	Amenaza/s	Rangos críticos y criterios ilustrativos
Transporte, capacidad de almacenamiento y flujo pico	Inundación	<ul style="list-style-type: none"> Los sistemas de tratamiento deben diseñarse para transportar el agua correspondiente al evento de inundación para un periodo de retorno de 100 años. El flujo y el volumen por encima de los requerimientos de diseño deben evitar el sistema de manera segura hasta el evento con periodo de retorno de 100 años.
Transporte y almacenamiento	Viento huracanado	<ul style="list-style-type: none"> Las estructuras y edificios de los sistemas de recolección y transporte deben estar diseñados y contruidos para soportar las cargas de viento mínimas establecidas por la normativa local o por el Código de Construcción Internacional.
	Terremoto	<ul style="list-style-type: none"> Las estructuras y edificios de los sistemas de recolección y transporte deben estar diseñados y contruidos para soportar la fuerza sísmica mínima establecida por la normativa local o por el Código de Construcción Internacional (IBC, por sus siglas en inglés).
Todas las estructuras	Inundación, marea de tormenta, tsunami	<ul style="list-style-type: none"> Todas las estructuras de drenaje deben diseñarse para estar protegidas como mínimo hasta la cota de inundación con periodo de retorno de 100 años o la inundación máxima registrada. La autoridad regulatoria local puede establecer un factor de bordo libre, de 600 mm por ejemplo.



Tabla 5.5. Transporte

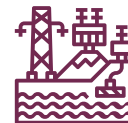
Componente del proyecto	Amenaza/s	Rangos críticos y criterios ilustrativos
Todas las estructuras	Todas	<ul style="list-style-type: none"> Diseñadas conforme a los códigos de construcción nacionales/locales considerados apropiados para la amenaza. Entre los códigos más exigentes utilizados más allá de los códigos mínimos está la norma de la American Association of State Highway and Transportation Officials (asociación estadounidense de oficiales estatales de vialidad y transporte o AASHTO, por sus siglas en inglés) o de la Federal Highway Administration (autoridad vial federal de EE.UU. o FHWA, por sus siglas en inglés).
	Inundación, marea de tormenta de huracán, tsunami	<ul style="list-style-type: none"> Típicamente los cruces de alcantarillas y puentes deben diseñarse para soportar el evento de inundación correspondiente a un periodo de retorno de 100 años, o una inundación con una probabilidad de ocurrencia del 1% en un año cualquiera. Este evento debe estar relacionado con una condición de diseño crítica, como nivel de agua máximo, velocidad de flujo máximo o/y flujo máximo, el que sea más relevante para el diseño. La condición crítica deberá tomar en cuenta, cuando corresponda, condiciones de contorno que pueden impactar el desempeño de la estructura de cruce, como niveles de agua corriente abajo, por ejemplo, en un entorno costero. El diseño debe estimarse con base en las condiciones de cambio climático del proyecto, seleccionando la criticidad del escenario de emisiones con base en la relevancia de la vía en cuestión.
	Terremoto	<p>Las normas norteamericanas como la AASHTO suelen utilizar un periodo de retorno de 1 en 2475 años para un evento sísmico. En algunos casos puede no ser apropiado el uso de este criterio. El aspecto crítico de diseño es el nivel de comportamiento post- terremoto o evento sísmico previsto en el diseño. El Código de Construcción Internacional 2003 define las siguientes tres clases de desempeño sísmico:</p> <ul style="list-style-type: none"> Grupo I: Una estructura asignada a este grupo está diseñada para ofrecer seguridad para la vida cuando está sujeta al máximo nivel de temblor esperado. No obstante, puede no estar operativa después de un terremoto. Grupo II: Una estructura asignada a este grupo se convertiría en una amenaza pública si colapsara. Se espera que estas estructuras tengan menos daño que las asignadas al Grupo I pero más que las asignadas al Grupo III. El nivel de daño probablemente requiera que se restrinja el uso o la operación después de un terremoto hasta tanto se realicen las reparaciones necesarias. Grupo III: Una estructura asignada a este grupo se requiere para la recuperación post-terremoto o contiene grandes cantidades de materiales peligrosos. Este tipo de estructura está diseñada para evitar el colapso, brindar seguridad para la vida y permanecer operativo después de un terremoto que produzca el máximo nivel esperado de temblor. <p>Para los fines de esta guía, se reconoce que es más probable que las vías y los puentes de mayor importancia se diseñen contemplando menor daño y mayor funcionalidad después de un evento sísmico que las vías y los puentes de menor importancia. No obstante, esto debe decidirse caso por caso.</p>
Puente	Viento huracanado	<ul style="list-style-type: none"> El diseño del puente es adecuado para condiciones de carga de viento correspondientes a un evento de diseño determinado con periodos de retorno futuro proyectados de forma adecuada.

**Tabla 5.6.** Sistemas de aguas residuales

Componente del proyecto	Amenaza/s	Rangos críticos y criterios ilustrativos
Tapas de la estación de bombeo Tapas del pozo Tapas de la caja de válvulas Aberturas de tanques/sumideros Componentes eléctricos Controles Motores de ventiladores Bombas de funcionamiento en seco/motores	Inundación, marea de tormenta de huracán, tsunami	<ul style="list-style-type: none"> · Todos los componentes enumerados deben situarse por encima de la cota de inundación con periodo de retorno de 100 años, considerando el aumento del nivel del mar proyectado. · Si los componentes no pueden situarse de forma práctica por encima de la cota de inundación con periodo de retorno de 100 años, deben ser estancos o estar protegidos, por ejemplo, mediante una barrera física. · Las estructuras sobre el nivel del suelo situadas en áreas sujetas a la amenaza deben diseñarse para soportar cargas hidrostáticas diferenciales y cargas asociadas a un aumento del nivel del mar o tsunami. · Se debe evaluar que todas las estructuras sean resistentes al flotación para el nivel de agua contemplado en el diseño. · Utilizar materiales resistentes a la corrosión (PVC/plástico, hierro o acero inoxidable en el caso de componentes metálicos).
Estructuras (tanques, edificios) Tubos	Terremoto	<ul style="list-style-type: none"> · Refuerzo estructural y cimentación conforme a las normas de diseño sísmico adecuadas. · Las uniones de tubos y penetraciones en tanques deben ser flexibles para evitar rupturas por movimiento diferencial.
Equipos eléctricos y mecánicos Tuberías e infraestructura subterránea	Viento huracanado	<ul style="list-style-type: none"> · Proveer fuentes de energía auxiliares (como mínimo generadores de emergencia, pero preferentemente fuente de energía renovable confiable) · Proveer capacidad de almacenamiento excesiva (tanto almacenamiento como se requiera durante el tiempo que se prevé que dure la interrupción de energía) en todo el sistema de recolección y tratamiento para permitir que el agua residual sea almacenada mientras el sistema de tratamiento esté fuera de servicio.

**Tabla 5.7.** Sistemas de suministro de agua

Componente del proyecto	Amenaza/s	Rangos críticos y criterios ilustrativos
Todos los componentes del sistema de suministro de agua	Inundación, tsunami, marea de tormenta	<ul style="list-style-type: none"> · Excepto las estructuras de toma de agua superficial, toda la infraestructura de suministro de agua y la planta de tratamiento de agua, incluidas las vías de acceso, deben diseñarse para estar protegidas como mínimo hasta la cota de inundación con periodo de retorno de 100 años o la inundación máxima registrada. La autoridad regulatoria local puede establecer un factor de bordo libre, de 600 mm por ejemplo.
Suministro de agua superficial	Sequía	<ul style="list-style-type: none"> · La demanda de disponibilidad de agua superficial debe considerar la demanda del servicio de provisión de agua y ser suficiente para abastecer abundante agua a otros usuarios legítimos (derechos sobre el agua) de la fuente. · La capacidad de la fuente de agua superficial debe considerar un excedente razonable para el crecimiento previsto (más de 20 años). · La capacidad de la fuente de agua superficial debe ser suficiente para compensar todas las pérdidas, por ejemplo, por sedimentación, evaporación y filtración. · La capacidad de suministro de agua superficial debe ser suficiente para satisfacer la demanda de agua máxima proyectada del área de servicio según cálculos basados en un evento de sequía en cincuenta años o la sequía extrema registrada, y debe incluir la consideración de sequías que se extiendan durante varios años. · Con respecto a los impactos del retiro de agua por parte del sistema de suministro de agua y otros usos, se deben considerar y cumplir los requerimientos regulatorios para mantener el caudal corriente abajo de la toma y los requerimientos mínimos de caudal/flujo acuático de base (con fines ambientales o de navegación). · Si se mantiene una capacidad suficiente durante la sequía, se debe realizar una evaluación para proyectar si se prevé que la calidad del agua durante el periodo de escasez difiera con respecto a condiciones normales.
Suministro de agua subterránea	Sequía	<ul style="list-style-type: none"> · La capacidad de suministro de agua subterránea se debe determinar, si es posible, considerando el peor caso (proyectado o real). · La prueba de capacidad de pozo debe realizarse con una bomba de prueba con capacidad de al menos 1,5 veces el flujo previsto en condiciones de vaciado máximo anticipado. · La prueba de capacidad de pozo debe contemplar, como mínimo, bombeo continuo durante al menos 24 horas (2) según la velocidad de bombeo de diseño o hasta que el vaciado estabilizado haya continuado por al menos seis horas con bombeo a una velocidad de 1,5 veces la velocidad de bombeo de diseño. · El pozo se considerará estable durante la prueba cuando la fluctuación del nivel del agua sea inferior a 50 mm durante las cuatro horas finales de la prueba de bombeo. · El pozo también podrá considerarse estable durante la prueba cuando al utilizar una extrapolación semilogarítmica del gráfico de la curva de tiempo-vaciado obtenida de la prueba de bombeo y proyectada para un periodo de 180 días, quede el 10% de la columna de agua entre la parte superior de la bomba y el nivel de agua estático, con una sumersión mínima de 5 m en el caso de pozos en sustratos rocosos y 1,5 m en el caso de pozos en sustratos de sobrecarga. · Si se mantiene una capacidad suficiente durante la sequía, se debe realizar una evaluación para proyectar si se prevé que la calidad del agua durante el periodo de escasez difiera con respecto a condiciones normales.
Estructuras de suministro de agua	Terremoto	<ul style="list-style-type: none"> · Excepto las estructuras de toma de agua superficial, toda la infraestructura de suministro de agua y la planta de tratamiento de agua, incluidas las vías de acceso, deben diseñarse para estar protegidas como mínimo hasta la cota de inundación con periodo de retorno de 100 años o la inundación máxima registrada. La autoridad regulatoria local puede establecer un factor de bordo libre, de 600 mm por ejemplo.
Estructuras de suministro de agua	Viento huracanado	<ul style="list-style-type: none"> · Excepto las estructuras de toma de agua superficial, toda la infraestructura de suministro de agua y la planta de tratamiento de agua, incluidas las vías de acceso, deben diseñarse para estar protegidas como mínimo hasta la cota de inundación con periodo de retorno de 100 años o la inundación máxima registrada. La autoridad regulatoria local puede establecer un factor de bordo libre, de 600 mm por ejemplo.

**Tabla 5.8.** Represas hidroeléctricas

Componente del proyecto	Amenaza/s	Rangos críticos y criterios ilustrativos
Represas y reservorios (incluyendo desagües de fondo, vertederos, etc.)	Inundación, terremoto, deslizamientos	<ul style="list-style-type: none"> Represas y reservorios, particularmente los que pertenecen a la categoría de grandes presas según la definición de la Comisión Internacional de Grandes Presas (ICOLD por sus siglas en inglés), altura total mayor a 15 metros o entre 10 y 15 metros con un volumen embalsado mayor a 3 millones de metros cúbicos, tienen un gran número de estándares a cumplir y guías de la evaluación cuantitativa del riesgo que son considerados buenas prácticas. Los estándares cubren el ciclo de proyecto completo (diseño, construcción, operación y cierre) y son muy extensos. Se resaltan algunos de estos para ilustrar el nivel de seguridad requerido: <ul style="list-style-type: none"> Grandes represas cuya falla pueda causar pérdida de vida deben verificarse para el no fallo con una creciente de 5.000 – 10.000 de periodo de retorno, dependiendo de su tipología, el Evento Máximo Probable y del enfoque del código (probabilista o determinista). Se requieren niveles similares para represas en zonas de alta sismicidad, y estos se escalan hacia abajo para zonas de sismicidad moderada. Desde el punto de vista del riesgo cuantitativo, las referencias más usadas (ANCOLD 2003, USBR 2011, SPANCOLD 2012, USACE 2014, o CWC-INDIA 2018) sugieren 10-4 como el umbral tolerable para el riesgo individual anualizado (típicamente equivale a la probabilidad total de falla de estas estructuras) y 0,001 vidas humanas por año como umbral de referencia para el riesgo social incremental (esto varía como función del total esperado de pérdida de vidas y normalmente se trunca en 1.000 vidas). Regulaciones de seguridad de presas hacen mandatorio mantener un Registro de Seguridad de Presas con toda la información actualizada que pueda influenciar la seguridad de la presa, así como un Plan de emergencia aprobado, documentado y operativo. También debe haber un Reglamento Operativo claro y debidamente documentado, además de realizar reportes periódicos de monitoreo y desempeño y evaluaciones comprensivas de seguridad de presas periódicas. Muchos de los códigos internacionales (i.e. todas las regulaciones de españolas desde 1967) requieren incluir en el diseño de las represas desagües de fondo (mínimo 2) para tener un control efectivo de la lámina de agua en el reservorio. Esto no permite la dependencia única en la capacidad de descarga de las turbinas (ni en la capacidad de descarga de estas durante eventos de inundación).

Desarrollo de un Plan de Gestión del Riesgo de Desastres

El paso final para realizar una buena narrativa del riesgo es traducir los déficits y pasos a seguir de la narrativa en un Plan de Gestión de Riesgo de Desastres. El plan debe incluir un curso de acción claro que detalle cómo abordar los déficits identificados, incluso una posible recomendación acerca de avanzar al Paso 4 y realizar más estudios. En algunos casos puede ser posible proponer algunas medidas de reducción de riesgo en forma directa (si no existen déficits significativos). Las medidas generalmente incluyen medidas verdes (como adaptación basada en el ecosistema) y medidas no estructurales relacionadas con sistemas de respuestas como sistemas de alerta temprana y planes de contingencia, respuesta ante emergencias y continuidad del negocio, que ayuden a reducir potenciales impac-

tos durante las fases de construcción y operación del proyecto. El Plan de Gestión de Riesgo de Desastres puede ser un híbrido que reúna varios de los aspectos mencionados. Las medidas establecidas en el PGRD deben incluir una jerarquía que defina los distintos niveles o prioridades.

Medidas de mitigación indicativas

Para ayudar en la propuesta de medidas nuevas o adicionales para el PGRD, incluimos una tabla de ejemplos típicos de mitigación de riesgo y adaptación al cambio climático para los cinco tipos de proyecto descritos en el Paso 2 (Tabla 5.9). Recuerda que esta tabla tiene fines ilustrativos y su objetivo no es reflejar la política o la práctica del BID. Se debe consultar al equipo a cargo del diseño antes de proponer cualquier medida.

Tabla 5.9. Ejemplos de medidas de mitigación

Tipo de proyecto	Amenaza/s	Ejemplos de medidas de mitigación de riesgo
Suministro de agua	Inundación, tsunami, marea de tormenta	<ul style="list-style-type: none"> • Emplazamiento fuera/por encima de la cota de inundación con periodo de retorno de 100 años y considerar reevaluarlo teniendo en cuenta el cambio climático • Utilización de coberturas y tapas a prueba de agua en aberturas de pozos de registro y tanques • Utilización de cajas de control y de conexiones eléctricas a prueba de sumersión • Utilización de componentes mecánicos sumergibles (por ej. bombas sumergibles) • Medidas adecuadas para evitar flotación (por ej. anclajes donde sea necesario) de tanques subterráneos • Situar los componentes críticos del sistema fuera/por encima de la zona de marea de tormenta local • Asegurar drenaje positivo en sitios que albergan componentes críticos del sistema
	Terremoto	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño de la planta de tratamiento de aguas, represas, edificios, estructuras, tanques de procesamiento y tanques de almacenamiento desarrollado con base en las condiciones sísmicas documentadas en el Código de Construcción Internacional y códigos locales. • Las tuberías principales de distribución de agua diseñadas con conexiones y materiales flexibles, por ejemplo, evitar conexiones rígidas y polietileno de alta densidad, cuando sea posible.
	Sequía	<ul style="list-style-type: none"> • Redundancia en las fuentes de suministro (interconexiones a otros servicios de suministro de agua, agua superficial y subterránea, tecnologías de reutilización del agua).
Gestión de aguas residuales	Inundación, tsunami, marea de tormenta	<ul style="list-style-type: none"> • Emplazamiento fuera/por encima de la cota de inundación con periodo de retorno de 100 años • Utilización de coberturas y tapas a prueba de agua en aberturas de pozos de registro y tanques • Utilización de cajas de control y de conexiones eléctricas a prueba de sumersión • Utilización de componentes mecánicos sumergibles (por ej. bombas sumergibles) • Medidas adecuadas para evitar flotación (por ej. anclajes donde sea necesario) de tanques subterráneos • Situar los componentes críticos del sistema fuera/por encima de la zona de marea de tormenta local • Asegurar drenaje positivo en sitios que albergan componentes críticos del sistemas
	Terremoto	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño de estructuras conforme a las normas locales sobre carga sísmica o al Código de Construcción Internacional o códigos locales si corresponde • Asegurar un asiento adecuado de tuberías, válvulas, tanques • Utilizar penetraciones flexibles, estancas, resistentes en tanques/piletas
	Viento huracanado	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño de estructuras conforme a normas locales sobre carga de viento • Utilización de múltiples zonas para sistemas de irrigación/aplicación en tierra para facilitar el aislamiento del sistema cuando la voladura de árboles expone o rompe la tubería de distribución • Asegurar suficientes válvulas de aislamiento en los sistemas de recolección/transporte para facilitar reparaciones cuando la voladura de árboles arranca la tubería • Asegurar que las instalaciones de tratamiento/componentes vulnerables esté protegidos contra material suelto que pueda volar • El mayor riesgo, no obstante, es la pérdida de suministro eléctrico • Generadores de emergencia alimentados a gas o diésel en todas las instalaciones críticas • Menor utilización de sistemas mecánicos (por ej., utilizar más sistemas de tratamiento pasivos) • Prever almacenamiento en exceso en el sistema de recolección o en el de tratamiento
	Sequía	<ul style="list-style-type: none"> • Maximizar la reutilización del agua y/o la irrigación para recargar acuíferos
	Volcán	<ul style="list-style-type: none"> • Situar los componentes críticos del sistema fuera de áreas que puedan resultar afectadas • Elevar el acceso a los componentes subterráneos del sistema (por ej., estación de bombeo) para asegurar que permanezcan accesibles en caso de presencia de lava y detritos

Tabla 5.9. Ejemplos de medidas de mitigación

Tipo de proyecto	Amenaza/s	Ejemplos de medidas de mitigación de riesgo
Transporte	Eólica	<ul style="list-style-type: none"> El diseño del puente es adecuado para condiciones de carga de viento correspondientes a un evento de diseño determinado con periodos de retorno futuro proyectados de forma adecuada. El desprendimiento de rocas por acción del viento se mitiga mediante captación eficaz u otras medidas de control
	Inundación	<ul style="list-style-type: none"> Componentes viales diseñados contemplando periodos de retorno futuros proyectados apropiados. Típicamente los cruces de alcantarillas y puentes deben diseñarse para soportar el evento de inundación correspondiente a un periodo de retorno de 100 años, o un evento con una probabilidad de ocurrencia del 1% en un año cualquiera. El diseño debe calcularse con base en las condiciones de cambio climático del proyecto y posiblemente considerar la identificación de vías alternativas en caso de falla.
	Terremoto	<ul style="list-style-type: none"> Componentes viales diseñados contemplando periodos de retorno futuros proyectados apropiados. El diseño debe contemplar niveles de resiliencia adecuados. Las normas norteamericanas como la AASHTO suelen utilizar un periodo de retorno de 1 en 2.475 años para un evento sísmico.
Infra-estructura crítica	Inundación, tsunami, marea de tormenta	<ul style="list-style-type: none"> Diseñada para la cota de inundación con periodo de recurrencia de 100 años o la máxima inundación registrada. La autoridad regulatoria local puede establecer un factor de bordo libre, de 600 mm por ejemplo. Debe considerarse actualizar este evento y los factores de forma periódica.
	Terremoto	<ul style="list-style-type: none"> Diseñadas para soportar la fuerza sísmica mínima establecida por la normativa local o por el Código de Construcción Internacional.
	Viento huracanado	<ul style="list-style-type: none"> Diseñadas para soportar las cargas de viento mínimas establecidas por la normativa local o por el Código de Construcción Internacional.
	Sequía	<ul style="list-style-type: none"> Localizar y asegurar suministro alternativo de agua (red de agua municipal o pozo en el emplazamiento). Considerar la posibilidad de instalar tanques de almacenamiento de agua temporal o mantener un stock de agua envasada.
Drenaje	Terremoto	<ul style="list-style-type: none"> Evitar zonas de licuefacción
	Viento huracanado	<ul style="list-style-type: none"> Implementar soportes y anclajes para la vegetación
	Inundación, tsunami, marea de tormenta de huracán	<ul style="list-style-type: none"> Incrementar la capacidad de control de inundaciones o las estructuras de desagüe Desplazamiento de cobertura de suelo Plantar vegetación adaptada a inundación prolongada Plantar vegetación adaptada a un potencial incremento de la salinidad Las mejores prácticas de administración (BMP, por su siglas en inglés) implementadas deben utilizar una combinación de plantas de humedal nativas y estructuras de piedra o roca
	Sequía	<ul style="list-style-type: none"> Utilizar vegetación tolerante a la sequía o proporcionar irrigación
Hidro-eléctricas (represas y reservorios)	Inundación, terremoto, deslizamientos	<ul style="list-style-type: none"> Las medidas estructurales principales están relacionadas con: Aumentar la capacidad de las estructuras de diversión del agua durante la construcción. Aumentar la capacidad del vertedero. Contar con equipos confiables y redundantes (compuertas, válvulas, etc.). Estabilizar el reservorio frente a los deslizamientos. Aplicar tratamientos contra la permeabilidad o deformación excesiva a la fundación. Cambiar la tipología del cuerpo de la represa o del vertedero para atender cualquiera de los temas anteriores y/o por requerir una mejor respuesta sísmica. Las medidas no estructurales están relacionadas con asegurar que se tenga: Un número significativo de instrumentos de monitoreo instalados en la represa (dependiendo del tipo de represa y su fundación, estos pueden ser medidores de fugas, piezómetros, inclinómetros, péndulos, elementos topográficos, etc.). Instrumentos hidrometeorológicos en la cuenca e instrumentos sísmicos en la represa y su fundación. Todos los instrumentos necesarios para la operación durante eventos extraordinarios, como inundaciones severas, para emitir alertas bajo escenarios de emergencia.

5.1.4 Resultados

El objetivo general de la narrativa del riesgo es tener un resumen preliminar, es decir, un diagnóstico que documente cómo el riesgo de desastres y cambio climático ya ha sido abordado hasta el momento en la operación del BID. Debe tratarse de un documento oficial del BID incluido como anexo a la Propuesta de Desarrollo de Operaciones (POD, por sus siglas en inglés). Este documento es obligatorio para todos los proyectos clasificados como riesgo Moderado y Alto. Como se dijo, si al momento de elaborar la narrativa del riesgo no hay suficiente información detallada sobre el diseño del proyecto, entonces la narrativa debe documentar cuáles fueron las limitaciones al momento de su desarrollo e identificar las zonas o amenazas que fueron estudiadas, como así también los déficits en los aspectos específicos que requieren de mayor estudio en los próximos pasos, y si deben avanzar al Paso 4.

El contenido de la narrativa del riesgo debe estudiarse con la agencia ejecutora y el equipo de ingenieros, como así también con el equipo de proyecto interno del BID y, preferentemente, con uno de los miembros del equipo de la Comunidad de Práctica.

La narrativa del riesgo debe permitir determinar si el proyecto ha recopilado suficiente información sobre los riesgos identificados que lo afectan y cómo éstos riesgos han sido abordados por el diseño y por las medidas adicionales. Si el proyecto fue clasificado como riesgo Moderado, y según la información recopilada sobre los aspectos mencionados se determina que las medidas existentes son suficientes, es posible detenerse en este paso y tomar la narrativa del riesgo como la ERD del proyecto. No obstante, si el proyecto de Riesgo moderado aún no ha cubierto los riesgos más importantes, entonces se debe avanzar hacia el siguiente paso. Si el proyecto fue clasificado como riesgo Alto, el siguiente paso es obligatorio.

5.1.5 Ejemplo 1: Narrativa del riesgo de una infraestructura vial

Las siguientes son las preguntas utilizadas para elaborar una narrativa de riesgo de desastres y

cambio climático para un proyecto vial desarrollado en el pasado. Este proyecto se encontraba en un entorno urbano donde la ciudad ya había identificado los aluviones y las inundaciones como las amenazas más críticas.

Estudios y medidas existentes

1. ¿Cuáles son las principales amenazas de interés? ¿Existen estudios de riesgo previos con respecto a esta vía? (¿Se evaluaron los impactos de las amenazas sobre el proyecto? ¿Se evaluaron los impactos del proyecto sobre las condiciones de riesgo de área circundante?)
2. ¿Existen estudios de riesgo previos en esta área de estudio, incluidas las comunidades que residen en la zona? (¿Se evaluaron los impactos de las amenazas en la zona?)
3. ¿Existen o se planea implementar en la zona del proyecto medidas de reducción para las amenazas de interés?
4. ¿Existe redundancia en el sistema vial que permitiría la continuidad del servicio de transporte en caso de que la vía bajo estudio fallara?

Evaluación de amenazas

Amenaza por terremoto

1. ¿Se realizó una caracterización de la geología y sismología local? ¿Cómo? (¿La vía cruza fallas activas? ¿Existe un catálogo sísmico del área?)

Amenaza por deslizamiento de tierra

2. ¿Se estudió la meteorología e hidrología local para la cuenca de interés? ¿Cómo? (¿Existen datos de mediciones?)
3. ¿Se estudiaron los efectos del cambio climático en la meteorología e hidrología local? En caso afirmativo, ¿cómo? (¿Se consultaron modelos climáticos globales o regionales para realizar proyecciones sobre cambio climático? ¿Existe una normativa oficial para el uso de proyecciones climáticas? ¿Se verificaron las proyecciones climáticas existentes?)

4. ¿Se estudiaron los taludes de la sección montañosa de la vía para evaluar su estabilidad?

Consideraciones de diseño

1. ¿Qué parámetros hidrológicos e hidráulicos se utilizaron para el diseño de los puentes y alcantarillas y drenajes longitudinales? (¿Métodos de análisis, periodos de retorno del diseño, análisis de frecuencia de inundaciones? ¿Se ha considerado el cambio climático? En caso afirmativo, ¿cómo? ¿Existen curvas oficiales de diseño de IDF?)
2. ¿Qué norma de diseño sismorresistente se utilizó para el diseño de puentes? (¿Existe un código de diseño local?)
3. ¿Se consideraron medidas de estabilización de taludes para la sección montañosa de la vía?
4. ¿Se consideró el efecto del cambio climático en el diseño del pavimento de la vía?

Sistemas de gestión y respuesta

1. ¿Existe un sistema de alerta temprana implementado en la zona del proyecto o se ha planificado uno para precipitaciones, aludes de lodo e inundaciones?
2. ¿Existe un programa, normativa o instrumento regulatorio para la gestión de la cuenca?
3. ¿Se desarrolló un plan de contingencia para asegurar la continuidad/recuperación rápida del servicio provisto?
4. ¿Existe una entidad institucional o sistema local que centralice la gestión del riesgo de desastres?

5.1.6 Ejemplo 2: Narrativa del riesgo para infraestructura de drenaje y de suministro de agua y saneamiento

Las siguientes preguntas pueden utilizarse para desarrollar una narrativa de riesgo de desastres y cambio climático para un proyecto de drenaje o de suministro de agua y saneamiento.

Estudios y medidas existentes

1. ¿Existen estudios de riesgo realizados previamente para los activos existentes? (¿Se evaluaron los impactos de las amenazas sobre el proyecto? ¿Se evaluaron los impactos del proyecto sobre las condiciones de riesgo de área circundante?)
2. ¿Existen estudios de riesgo previos para el área geográfica (barrio, ciudad, población, municipalidad, cuenca, etc.) incluidas las comunidades de la zona? (¿Se evaluaron los impactos de las amenazas en la zona?)
3. ¿Existen o se planea implementar en la zona del proyecto medidas de reducción para las amenazas de interés?

Evaluación de amenazas

1. ¿Cuáles son las principales amenazas de interés incluidas las hidrometeorológicas y las geofísicas? Para cada una de las amenazas de interés identificadas, utiliza las siguientes preguntas orientativas.

Amenaza por terremoto

2. ¿Se realizó una caracterización de la geología y sismología local? ¿Cómo? (¿Las redes y/o los reservorios cruzan fallas activas? ¿Existe un catálogo sísmico del área?)

Amenaza por inundación

3. ¿Se estudió la meteorología e hidrología local para la cuenca de interés? ¿Cómo? (¿Existen datos de mediciones?)
4. ¿Se estudiaron los efectos del cambio climático en la meteorología e hidrología local? En caso afirmativo, ¿cómo? (¿Se consultaron modelos climáticos globales o regionales para realizar proyecciones sobre cambio climático? ¿Existe una normativa oficial para el uso de proyecciones climáticas? ¿Se verificaron las proyecciones climáticas existentes?)

Amenaza por marea de tormenta

- ¿Se estudió el régimen costero de mareas y mareas de tormenta? En caso afirmativo, ¿cómo? (¿Se desarrollaron modelos? ¿Se estudiaron los datos de eventos pasados? ¿Se consideró el efecto del cambio climático?)

Amenaza por deslizamiento de tierra

- ¿Se estudió la estabilidad de los taludes existentes en torno a infraestructura crítica de los sistemas? En particular en torno a plantas de tratamiento y estructuras de retención de aguas o reservorios.

Amenaza por aumento del nivel del mar

- ¿Se estudiaron los efectos del cambio climático en el aumento del nivel del mar? En caso afirmativo, ¿cómo? (Se consultaron modelos climáticos globales o regionales para realizar proyecciones sobre cambio climático? ¿Existe una normativa oficial para el uso de proyecciones climáticas? ¿Se verificaron las proyecciones de cambio climático existentes?) Y a partir de la selección de una proyección «pesimista»? En caso afirmativo, ¿cuál o cuáles?
- ¿El nivel de protección proviene de una serie de proyecciones de MCG y/o de la selección de una proyección “pesimista”? En caso afirmativo, ¿cuál o cuáles?

Amenaza por tsunami

- ¿Se estudió el régimen costero de oleaje? En caso afirmativo, ¿cómo? (¿Se desarrollaron modelos? ¿Se estudiaron los datos de eventos pasados?)

Amenaza volcánica

- ¿Se estudiaron las trayectorias de lahares? En caso afirmativo, ¿cómo? (¿Se desarrollaron modelos? ¿Se estudiaron los datos de eventos pasados?)

Vulnerabilidad

- ¿Cuál es la exposición actual en el área directa e indirecta (población y activos expuestos y su valor)?

- ¿Cuáles son las actuales condiciones de vulnerabilidad de la exposición hacia las diferentes amenazas naturales (vulnerabilidad de activos, es decir, tipo de construcción, materiales, calidad y estado general, vulnerabilidad de la construcción)?

Consideraciones de diseño

- ¿Qué parámetros hidrológicos e hidráulicos se utilizaron para el diseño de las estructuras de retención de aguas (represas, reservorios, diques, etc.)? (¿Métodos de análisis, periodos de retorno del diseño, análisis de frecuencia de inundaciones? ¿Se ha considerado el cambio climático? En caso afirmativo, ¿cómo? ¿Existen curvas oficiales de diseño de IDF?)
- ¿Qué estándar de diseño sismorresistente se utilizó para el diseño de las estructuras de retención de agua (represas, reservorios, etc.), plantas de tratamiento y edificios administrativos? (¿Existe un código de diseño local?)
- ¿El diseño incorporó materiales y tecnologías costo eficaces disponibles adecuadas para las amenazas relevantes?
- ¿El diseño del proyecto considera ya evitar/minimizar/mitigar el riesgo en torno a las comunidades? ¿Cómo? ¿En qué medida?
- ¿El nivel de protección en el diseño procede de un modelo de amenaza? En caso afirmativo, ¿cuál y qué datos se utilizaron?
- ¿El nivel de protección en el diseño procede de la recomendación de expertos? En caso afirmativo, ¿qué supuestos se adoptaron?
- ¿El nivel de protección procede de diseños previos en el área local? En caso afirmativo, ¿cuáles?

Sistemas de respuesta

- ¿Existe un sistema de alerta temprana implementado en el área del proyecto o se tiene planificado implementar uno para precipitaciones e inundaciones?

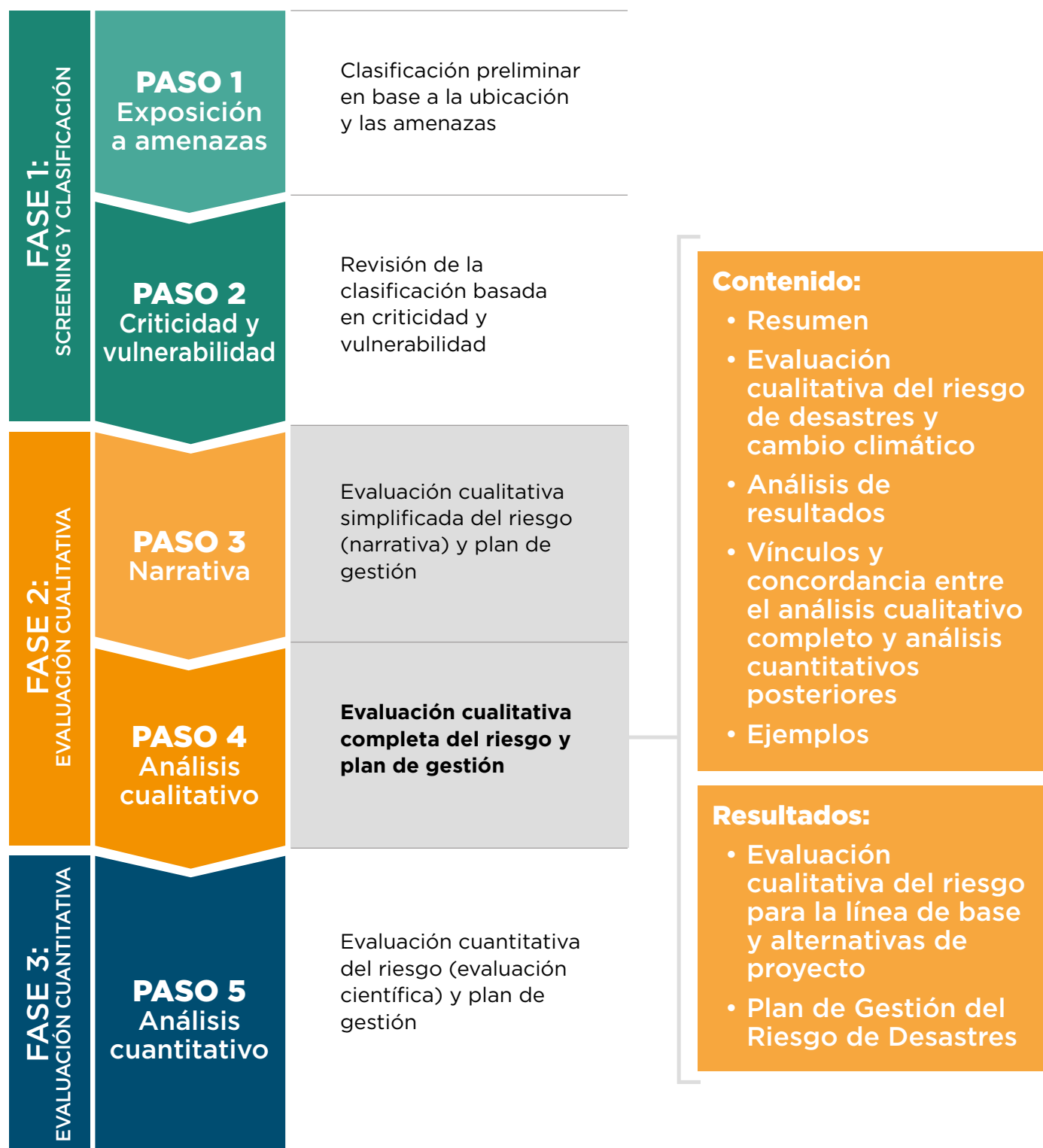
2. ¿Se desarrolló un plan de contingencia para asegurar la continuidad/recuperación rápida del servicio provisto?
3. ¿Se desarrolló un plan de emergencia para definir funciones, responsabilidades y actividades para prepararse para una emergencia?
4. ¿El sistema de drenaje o de suministro de agua y saneamiento tiene redundancia? (Redes de tuberías, reservorios en plantas de tratamiento, maquinaria, conexiones, etc. redundantes?)

Riesgo incremental

1. ¿El proyecto podría modificar las condiciones de riesgo de cualquiera de las amenazas identificadas, ocasionando un incremento en los niveles de riesgo (con respecto a las condiciones de línea de base)?
2. ¿El proyecto podría modificar la exposición en el área de influencia directa e indirecta ocasionando un incremento significativo de los activos o población que estará expuesta a las amenazas naturales?
3. ¿La operación podría modificar las condiciones de vulnerabilidad o exposición de activos y comunidades aledañas a las amenazas naturales, ocasionando un incremento en la vulnerabilidad?

5.2 Paso 4 - Evaluación cualitativa completa del riesgo y plan de gestión del riesgo

Figura 5.2. Paso 4



5.2.1 Resumen

El cuarto paso consiste en realizar una evaluación cualitativa completa del riesgo para los proyectos de riesgo Alto, así como para los proyectos de riesgo Moderado que, según el paso anterior, la necesitan (es decir, si la narrativa del riesgo identificó déficits críticos que requieren de tratamiento adicional). Al realizar en primer lugar una evaluación cualitativa de todos los riesgos, es posible determinar fácilmente la necesidad de llevar a cabo una evaluación cuantitativa detallada y enfocarla únicamente en las partes específicas de la operación y en los temas que la requieren. Este paso incluye también un plan de gestión del riesgo de desastres y cambio climático para aquellos riesgos y características de la operación para los cuales es posible identificar medidas mediante un análisis cualitativo. Las operaciones cuyo análisis cualitativo y su correspondiente plan de gestión de riesgo no logran resolver grandes incertidumbres o no son suficientes para alcanzar un nivel de riesgo tolerable (aún existen riesgos y características de la operación que podrían comprometer la viabilidad técnica y/o económica o representar un riesgo importante tanto para el proyecto en sí como para las comunidades aledañas) deben avanzar hacia la Fase 3 para cuantificar esas incertidumbres o riesgos críticos.

La aplicación de herramientas de análisis cualitativas posibilita: (i) una clasificación de riesgos general y por categorías (específica del proyecto, no se la debe confundir con el screening y la clasificación de los Pasos 1 y 2), (ii) la identificación de causas y consecuencias de dichos riesgos, (iii) la identificación de las acciones de reducción del riesgo requeridas en el corto y largo plazo y, por último, (iv) la determinación de la necesidad de realizar un análisis de riesgo cuantitativo y cómo enfocarlo. El análisis cualitativo incluye opiniones de expertos, información de inteligencia, enfoques grupales sistemáticos y técnicas de razonamiento inductivo, entre otros (European Commission, 2010) (los métodos cuantitativos, por el contrario, permiten asignar valores a los componentes de riesgo, es decir, probabilidad y consecuencias, para calcular el riesgo existente y evaluar el impacto que tienen las medidas de reducción sobre el riesgo).

Existen diferentes técnicas para realizar un análisis cualitativo que incluyen la realización de un análisis de modos de falla, consultas con un panel selecto de expertos o la utilización de matrices de riesgo. La elección del método dependerá del tipo y de la magnitud del proyecto y de la infraestructura a analizar. La siguiente sección brinda más detalles sobre cómo realizar un análisis cualitativo utilizando estos tres métodos.

5.2.2 Evaluación cualitativa del riesgo de desastres y cambio climático

Una de las lecciones aprendidas más importantes que llevaron al desarrollo de esta Metodología fue la necesidad de que los proyectos de sometan a un análisis cualitativo antes de evaluar la necesidad de un análisis cuantitativo más complejo. La evaluación de riesgo cualitativa puede (i) llevar directamente a un plan de gestión de riesgo de desastres y cambio climático, si el análisis concluye que se evaluaron todos los riesgos de forma suficiente, que ninguno representa una amenaza para la viabilidad del proyecto y, con base en los resultados, es posible proponer medidas que lleven a un nivel de riesgo tolerable, o bien (ii) servir como base para establecer el alcance de una evaluación cuantitativa posterior, si es necesaria. En otras palabras, este paso cualitativo sirve como un filtro adicional para enfocarnos en los aspectos que verdaderamente requieren de un tratamiento cuantitativo, si es que los hay. La narrativa del riesgo desarrollada en el Paso 3 debe alimentar este análisis cualitativo completo, iniciando el análisis.

Debido a limitaciones de tiempo, falta de datos o aspectos que no son totalmente cuantificables, a menudo la evaluación cualitativa es lo que más sentido tiene, ya sea como una evaluación independiente o como un paso previo para la realización de una evaluación cuantitativa. Existen numerosos enfoques y es aconsejable verificar cuáles son los más comunes en el campo de estudio. En esta Metodología estudiaremos tres: un enfoque basado en una matriz de riesgo, otro basado en el análisis de modos de falla y un análisis cualitativo que recurre a encuestas/entrevistas a un panel/grupo de expertos utilizando técnicas como el mé-

todo Delphi (Recuadro 5.2). No obstante, también puede utilizarse otros métodos o técnicas. Se puede hallar diferentes ejemplos en la literatura o en otras instituciones, incluido, por ejemplo, el PIEVC Engineering Protocol de Engineers Canada¹⁶ (EngineersCanada,2016), que incluye un importante

componente cualitativo y un taller. Para un proyecto pequeño de riesgo Moderado y presupuesto y tiempo limitados, es posible que lo que más sentido tenga es adoptar uno de estos enfoques en lugar de realizar un análisis cuantitativo complejo.

Recuadro 5.2. Tipos de evaluación cualitativa del riesgo de desastres y cambio climático

La evaluación cualitativa puede realizarse mediante un taller (taller de modo de falla) en el que trabajen expertos en riesgo de desastres y cambio climático con personal técnico de las firmas a cargo del diseño/de la construcción y la agencia ejecutora de la operación para analizar y dimensionar todos los riesgos posibles, factores agravantes, posibles consecuencias y medidas de intervención. Existen otras técnicas cualitativas, como la utilización formal del método Delphi para consultar la opinión de expertos (método para llegar a un consenso a través de la realización de encuestas o entrevistas con un panel selecto de expertos – véase Hollowell y Gambatese, 2010, y Garson, 2012) o la utilización de matrices de riesgo que califican los riesgos con base en estimaciones cualitativas de la frecuencia y magnitud de los impactos. En todos los casos es necesario involucrar a profesionales y técnicos locales para garantizar el aprovechamiento del conocimiento local. Las siguientes figuras muestran un ejemplo de un modo de falla esquemático de una vía identificado mediante un taller llevado a cabo con este propósito.



1 Avenidas



2 La capacidad hidráulica es superada



3 Erosión de márgenes y apoyos



4 La estructura es arrasada



¹⁶ <https://pievc.ca/>. Véase por ejemplo el caso de estudio, https://pievc.ca/sites/default/files/quesnell_bridge_city_of_edmonton_refurbishment_alberta_final_report.pdf

¿Qué debería incluir un análisis cualitativo de riesgo para un proyecto de infraestructura?¹⁷

• **Información sobre el proyecto**¹⁸. Identificación del proyecto: lo mejor es tener alguna información de diseño, al menos diseños preliminares.

- ¿Cuál es el alcance de la operación? Por ej., nuevo diseño/construcción, modernización/mejora, planificación u otro.

- ¿Cuál es la vida útil prevista de los diferentes componentes de la operación?

- ¿A cuántas personas beneficiará el proyecto?

• **Amenazas naturales y exposición:** Identificación de las amenazas naturales con posibilidad de afectar la zona donde el proyecto será ejecutado/localizado (o su área de influencia más directa).

- Caracterización específica de las amenazas que pueden afectar estas infraestructuras durante su vida útil.

- Evalúa el grado de exposición actual en términos de población y activos económicos y culturales del lugar e influencia directa de las infraestructuras.

• **Vulnerabilidad del proyecto:** Identificación de las características del proyecto que lo hacen más o menos vulnerable a las amenazas naturales, incluido el cambio climático. Mediante un análisis como el de modo de fallas: Identificación y análisis de los modos de falla del proyecto frente a amenazas naturales para ese tipo de proyecto durante su vida útil, integrando la variable de cambio climático y recomendaciones para cada modo de falla identificado. Determinar cuán crítico puede ser que falle el proyecto. Si alguno de los componentes del proyecto falla, ¿existe la posibilidad de que ocasione pérdida de vidas? ¿Hay sistemas o infraestructura redundante que podría utilizarse si algún componente del proyecto falla?

• **Impactos plausibles.** En la medida de lo posible, realizar una evaluación (cualitativa) de la exposición incremental, con respecto a la actual, en términos de población y activos económicos y culturales debido a la ejecución y/u operación del proyecto. Identificación, en la medida de lo posible, de los impactos plausibles en términos sociales y económicos estrictamente atribuibles a la existencia del proyecto y los impactos ambientales que podrían exacerbar el riesgo (impacto sobre manglares en una zona portuaria, materiales peligrosos en el caso de un terremoto, etc.).

• **Visita técnica.** Realización de un reconocimiento de campo del emplazamiento del proyecto con partes interesadas relevantes para identificar visualmente y evaluar la situación actual de las amenazas naturales y de la infraestructura existente, en caso de que haya. Se debe elaborar una ayuda memoria detallada que incluya un registro fotográfico completo.

• **Taller.** Realización de un taller con las partes interesadas relevantes para analizar posibles modos de falla e identificar posibles medidas de reducción de riesgo y obras complementarias, analizar la exacerbación del riesgo y la transferencia de riesgo a terceros, e identificar si se requieren más estudios.

• **Ayuda para la toma de decisiones.** Conclusión acerca de si el nivel de detalle cualitativo es suficiente para justificar la viabilidad.

• **Plan.** Desarrollo de un plan de gestión de riesgo de desastres para todos los modos de falla que no pasarán a la fase cuantitativa (medidas de corto, medio y largo plazo).

Matrices de riesgo

Una matriz de riesgo consiste en una matriz con clases de frecuencia y severidad (o consecuencias) del riesgo, cada una en un eje. El primer paso en la aplicación este método es definir o construir la

¹⁷ Esta información está basada en el curso en línea sobre evaluación de riesgo de desastres, BID, a desarrollarse en 2020. Fuente: Ipresas.

¹⁸ Nótese que parte de esta información ya debería estar disponible gracias al Paso 3.

matriz de riesgo, y esto implica establecer categorías para la frecuencia y la severidad. Las matrices de riesgo pueden ser construidas usando categorías o umbrales cualitativos o semicuantitativos.

Para definir las categorías para la frecuencia, es necesario definir primero el número de categorías necesarias (por ejemplo, cuatro categorías que definen una frecuencia muy baja, baja, moderada y alta), y opcionalmente definir los umbrales que definirán cada categoría (por ejemplo, muy baja: menos de una vez cada 1.000 años, baja: entre una vez en 100 años hasta una vez en 1.000 años, moderada: entre una vez en 10 años hasta una vez en 100 años, y alta: más de una vez en 10 años). Para definir las categorías para la severidad es necesario considerar qué tipos de impactos son más apropiados para el proyecto bajo estudio, tales como daños materiales, interrupciones económicas, impactos ambientales, fatalidades y/o heridos, y nuevamente opcionalmente definir umbrales específicos para cada categoría (FEMA, 1997).

Los pasos para seguir este enfoque incluyen (FEMA, 1997):

1. Identificar y caracterizar las amenazas relevantes, incluida su severidad, y las interrelaciones con otras amenazas.
2. Estimar el riesgo de cada amenaza identificada basado en el grado relativo de riesgo obtenido de la matriz y ordenar estos riesgos.

3. Evaluar la aceptabilidad de estos niveles de riesgo para determinar si éstos son tolerables o no.

4. Realizar simulaciones y pruebas sobre la matriz de riesgo con la implementación de medidas de mitigación del riesgo que podrían llevar el riesgo a niveles tolerables.

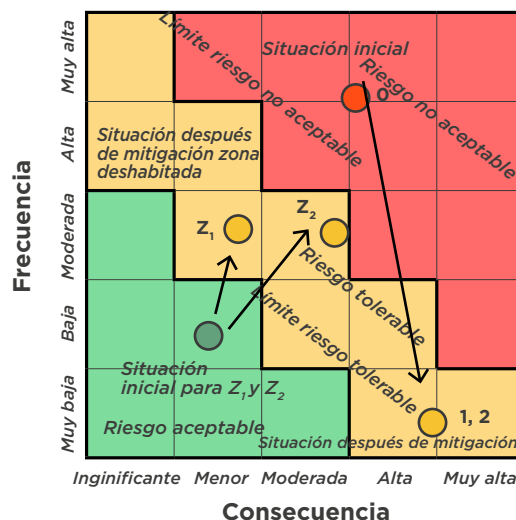
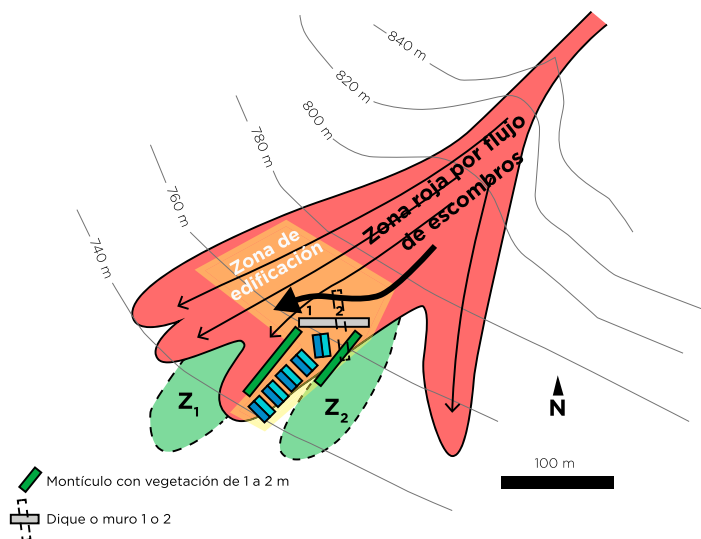
5. Monitorear y revisar los riesgos de manera periódica usando la matriz.

Tal como lo aclara el proyecto CHARIM (Caribbean Handbook on Risk Information Management) (Haines, 2008; van Westen, s.f.), este método permite más flexibilidad y la incorporación de la opinión de expertos. Además, ofrece una forma de visualizar los efectos y las consecuencias de las medidas de reducción de riesgos. También se convierte en una buena herramienta de comunicación porque ayuda a la audiencia no experta a entender una evaluación de riesgo más fácilmente. Es importante tener en cuenta que los resultados dependerán en gran medida de los expertos involucrados en el proceso de creación de la matriz. Por lo tanto, es muy importante seleccionar el grupo que informará el proceso, incluida la identificación de escenarios de amenazas, la clasificación caracterizada por frecuencia (probabilidad) y clases de impacto y sus correspondientes límites. Véanse las Figuras 5.3 y 5.4 para conocer ejemplos al respecto.

Figura 5.3. Ejemplo del enfoque basado en una matriz de riesgo

		IMPACTO			
		Ninguno	Bajo	Moderado	Alto
FRECUENCIA	Muy alta		Alto	Muy alto	Muy alto
	Alta		Moderado	Alto	Muy alto
	Moderada		Bajo	Moderado	Alto
	Baja		Bajo	Bajo	Moderado
Ninguna		Ningún riesgo			

Figura 5.4. Ejemplo de posible zona de edificación en una zona de amenaza significativa e ilustración de las soluciones propuestas.



Fuente: CHARM <http://www.charim.net/methodology/55>

Nota: La matriz de riesgo se utiliza para representar el grado de riesgo (Jaboyedoff y otros, 2014).

Panel de expertos (por ejemplo, utilizando el método Delphi)

La técnica Delphi permite a los investigadores obtener datos altamente confiables procedentes de expertos certificados utilizando encuestas estratégicamente diseñadas. Ofrece un enfoque interactivo, sistemático y estructurado para obtener la opinión de un panel de expertos, en este caso en particular, opiniones sobre identificación, probabilidad y consecuente estimación y evaluación del riesgo. Se la considera de rango intermedio (comparada con otras técnicas) con respecto a los recursos y las capacidades necesarias, la naturaleza y el grado de incertidumbre y la complejidad. Se la puede utilizar para ponderar indicadores de amenaza y vulnerabilidad. Posibilita la realización de una evaluación de múltiples riesgos en caso de contar con sets de datos incompletos o incomparables. Debido a que se trata de un enfoque relativamente conocido, presentamos referencias sobre material de lectura al respecto (Hallowell y Gambatese, 2010; Garson, 2012). A este método se lo puede integrar a un formato de taller y visita de campo, en línea con lo que estudiaremos a continuación sobre análisis de modos de falla. Esta técnica es utilizada por numerosos organismos, incluida la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción de Riesgo de

Desastres (UNDRR, por sus siglas en inglés, anteriormente también conocida como UNISDR).

Análisis de modos de falla

El análisis de modos de falla consiste en un análisis y un taller con técnicos y expertos locales para identificar fallas, causas y soluciones, y desarrollar un plan de medidas estructurales y no estructurales para reducir el riesgo.

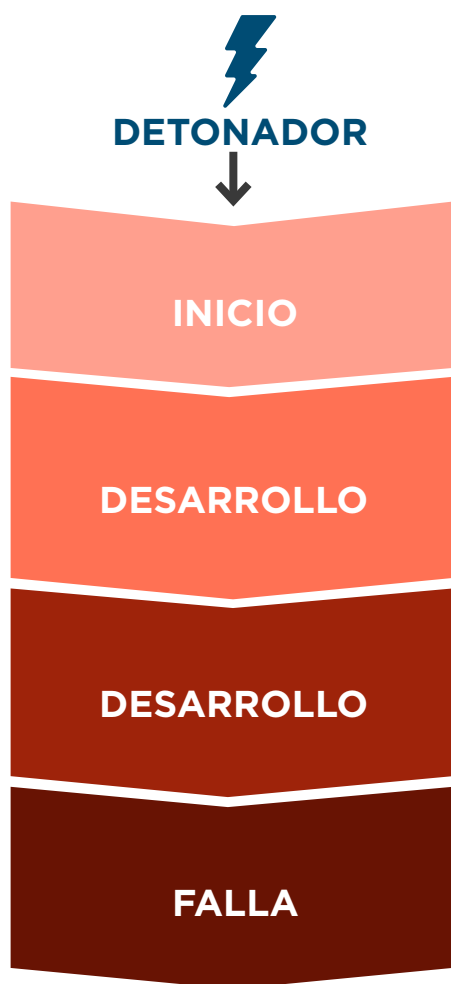
Un análisis de riesgo cualitativo de modos de falla tiene por objetivo estudiar los diferentes aspectos relacionados con la seguridad de una infraestructura en forma integral, identificar los potenciales modos de fallas que pueden ocurrir y realizar recomendaciones para mejorar su gestión de seguridad, que incluyen acciones para reducir el riesgo y aumentar el conocimiento sobre el sistema.

El análisis de modos de falla es un ejemplo de análisis de riesgo cualitativo basado en la identificación de modos de falla para la infraestructura correspondiente. Incluye un conjunto de eventos o mecanismos que pueden llevar a la falla de la infraestructura, ya sea **estructural**, **operativa** o **relacionada con su servicio** (interrupción de su función, por ej., corte de la vía).

¿Qué es un modo de falla?

Un modo de falla se define como la secuencia de eventos específica que puede llevar al funcionamiento inadecuado de la infraestructura, su sistema de gestión de riesgo o una parte o un componente de la infraestructura. Esta serie de eventos está asociada a cierto escenario de amenazas y tiene una secuencia lógica, que consiste en un evento disparador inicial (por ejemplo, una inundación, un terremoto), una serie de eventos de desarrollo o propagación, y culmina con la falla o el mal funcionamiento de la infraestructura (por ej., falla del servicio), como se observa en la Figura 5.5. Los diferentes modos de falla posibles que pueden identificarse para una infraestructura deben recoger todos esos eventos o combinaciones de eventos que pueden dar origen a fallas, tanto estructurales como en el servicio provisto.

Figura 5.5. Estructura general de un modo de falla



¿Qué factores deben identificarse para analizar su posibilidad de ocurrencia?

Los factores que deben identificarse incluyen los de carácter técnico y organizacionales, entre otros, que contribuyen u obstaculizan la ocurrencia del evento disparador y la progresión de los mecanismos que en última instancia dan origen a la falla. Es necesario prestar especial atención a los factores relacionados con la **operación y el mantenimiento de la infraestructura**, el **diseño** y la **conurrencia** de otros eventos que pueden propiciar el desarrollo de la falla.

La participación de **expertos técnicos de diferentes disciplinas** (por ej., ingenieros estructurales, ingenieros hidráulicos, ingenieros mecánicos, ingenieros geotécnicos) en la identificación de modos de falla posibilita una visión más integral de la seguridad de la infraestructura y comprender las interrelaciones entre los diferentes factores involucrados. Sin embargo, hay que cuidar que el tamaño del equipo no sea excesivo (en cantidad de participantes) y ello dificulte las tareas, y es importante vigilar que el tema no se diluya y mantener el foco del análisis.

El análisis debe identificar posibles modos de falla y éstos se deben clasificar para poder identificar cuáles requieren más atención y análisis.

¿Cómo es el proceso?

Usualmente es necesario contar con un especialista en riesgo de desastres y cambio climático para realizar este análisis cualitativo completo, sobre todo para liderar y guiar el proceso, que puede incluir múltiples participantes y partes interesadas. Esto puede requerir una experiencia y perfiles profesionales adicionales a los existentes en los equipos de proyecto y de ingeniería. Por lo tanto, el equipo debe decidir si es necesario acudir a servicios de consultoría para esto.

El proceso de análisis de modos de falla comienza con la recopilación y el análisis de información sobre el proyecto procedente de fuentes secundarias y primarias, e incluye una visita técnica al lugar de emplazamiento del proyecto. Esto últi-

mo, que debe realizarse con los expertos en riesgo de desastre, el equipo del proyecto y los ingenieros o diseñadores del proyecto, es crítico para el proceso ya que permite que todos los participantes tengan un entendimiento común acerca de las condiciones actuales o de línea de base y tengan la oportunidad de discutir el concepto y la propuesta del proyecto, incluidos los detalles técnicos. Después de la visita se debe realizar un taller para trabajar sobre posibles modos de falla.

La Figura 5.6 muestra el proceso que se realiza en el taller para identificar modos de falla. Como puede observarse, una vez revisada la información del sistema y realizada la visita técnica, sigue una fase individual de identificación de modos de falla por parte del equipo que está realizando esta actividad que, idealmente, debe estar integrado por 5 a 15 personas con diferentes grados de involucramiento en el proyecto y que pertenezcan a distintas ramas de especialización. Para identificar los modos de falla, la información del proyecto recopilada y analizada al inicio debe abarcar diseños preliminares o de prefactibilidad para conocer un mínimo de especificaciones técnicas, el alcance, los beneficios, dimensiones generales, el esquema general, alternativas y la ubicación geográfica. El objetivo de esta evaluación cualitativa completa es informar e influenciar los diseños finales, y es por ello que la etapa de diseño preliminar es la instancia óptima en el desarrollo del proyecto para realizar la evaluación. En esta fase, cada participante realiza una propuesta individual sobre posibles modos de falla que podrían desarrollarse en el sistema.

Las propuestas individuales de modo de falla se deben poner en común con el equipo para eliminar redundancias y así obtener modos de falla que idealmente hayan sido determinados por consenso después del debate correspondiente. Además, para cada modo de falla identificado, el grupo debe plantear los factores existentes que propician su materialización y los que la obstaculizan. Al proponer y analizar modos de falla, es importante evaluar la exposición, la vulnerabilidad y el riesgo de las personas y los activos fuera del proyecto en sí (terceros) que también pueden resultar impactados por su falla. Por último, si bien el análisis fue ex-

clusivamente cualitativo, a partir de la identificación de modos de falla, los participantes podrán proponer mejoras para la infraestructura y/o los terceros expuestos (por ej., implementación de medidas de reducción de riesgo en poblaciones corriente abajo).

La literatura técnica presenta numerosos ejemplos de modos de falla y procedimientos para identificarlos, pero los resultados son muy específicos para cada tipo de infraestructura. Unos ejemplos al respecto realizados para proyectos del BID son el trabajo sobre Control de Calidad del Análisis de Riesgo por Inundación de las Obras de control de inundaciones en el río Choluteca, 2017 (Cooperación técnica RG-X1226), y el Proyecto de transporte y conectividad departamental en Haití (HA-L1104)¹⁹. El proceso formal de identificación de modos de falla es un paso esencial para poder realizar después un análisis cuantitativo y es una actividad donde debe garantizarse la coherencia entre los fundamentos de ingeniería y las técnicas de análisis de riesgo.

Figura 5.6. Proceso para identificar modos de falla en el taller



¹⁹ Se puede consultar un resumen del reporte en: <https://www.iadb.org/Document.cfm?id=EZSHARE-69529135-4>

Dos o tres días antes del taller, es útil enviar la siguiente información a los invitados: (i) descripción general del proyecto, (ii) amenazas de interés identificadas en los pasos previos, (iii) documentos de diseño del proyecto recopilados en el Paso 3 y (iv) una agenda. A continuación se presenta un ejemplo de agenda (Recuadro 5.3). Esta agenda fue desarrollada para un taller de un día (6 horas) y puede modificarse según las necesidades del proyecto.

Recuadro 5.3. Aspectos clave de la agenda del taller

Descripción general del proyecto: a cargo del equipo de proyecto del BID junto con la Agencia Ejecutora.

Diseño actual, datos y disponibilidad del proyecto (60 min.): a cargo de las compañías de diseño/construcción para entender y analizar los detalles del diseño y temas técnicos.

Panorama general sobre el riesgo de desastres (30 min.): la persona/entidad/firma a cargo del análisis cualitativo de riesgo comentará los hallazgos de los pasos anteriores (1, 2 y 3), datos de escala gruesa y los datos/estudios recopilados.

Modos de falla individuales (20 min.)

Discusión grupal sobre el trabajo individual (40 min.)

Clasificación de los modos de falla (60 min.)

Discusión grupal de la propuesta de medidas de reducción de riesgo (60 min.)

Entre las cuestiones que deben analizarse durante el taller se incluyen: posible modo de falla, descripción del modo de falla, representación gráfica del modo de falla, identificación de los factores que harían más probable el modo de falla (incluidas consideraciones sobre cambio climático), y la identificación de los factores que harían menos probable el modo de falla. Las condiciones futuras e interdependencias deben considerarse en la conversación. ¿Cómo cambiará la zona en el futuro? ¿Qué otros factores de estrés deberían considerarse? ¿Cómo se interrelacionan los modos de falla?

¿Quiénes deben asistir al taller?

Como ya se dijo, es importante involucrar a diferentes actores en el análisis para enriquecer el proceso y cubrir todos los aspectos importantes. El equipo de trabajo que realiza el análisis debe

estar integrado por expertos en **amenazas naturales** y la **infraestructura** bajo análisis. Las partes interesadas incluidas deben ser: (1) multidisciplinarias: que abarquen diferentes áreas y campos de conocimiento (técnico, financiero, organizacional, social, ambiental, de gestión, etc.); (2) conocedores del sistema, es decir, de la infraestructura y su entorno, operación y mantenimiento; (3) experimentadas y calificadas según las necesidades del análisis: deben ser expertas en las amenazas analizadas, el tipo de infraestructura, la fase del ciclo del proyecto. Un representante del equipo del proyecto también debe estar presente en el taller y puede actuar como facilitador. Si se optó por utilizar servicios de consultoría para realizar este análisis de riesgo, el consultor o la firma de consultoría encargada de realizarlo y la empresa que diseñe la infraestructura también deben participar. Es importante asegurarse de que el taller sea lo suficientemente pequeño para permitir que todos participen pero con la diversidad necesaria para que no falte ninguna competencia o punto de vista clave.

5.2.3 Análisis de los resultados de la Evaluación Cualitativa del Riesgo de Desastres y Cambio Climático y desarrollo de un Plan de Gestión de Riesgo de Desastres (PGRD)

Esta tarea implica revisar los resultados del análisis cualitativo de riesgo y cambio climático y determinar si éste aborda el riesgo de manera suficiente o si el proyecto, o cualquiera de sus componentes, debe continuar al Paso 5. Por lo tanto, en este punto el equipo de proyecto debe decidir si (i) los riesgos pueden ser mitigados a través de las medidas propuestas por el análisis cualitativo e implementadas sin un análisis cuantitativo detallado, o (ii) si es necesaria una evaluación de riesgo más detallada y cuantitativa.

En el caso de proyectos que no requieren pasar al Paso 5, el análisis cualitativo del Paso 4 debe llevar directamente al PGRD. Análogamente, incluso en los proyectos que sí necesitan avanzar al Paso 5, en ocasiones los resultados del Paso 4 ya pueden ofrecer algunas medidas de mitigación de riesgo que deben incluirse en el PGRD, que pueden completarse posteriormente con los resultados del

Paso 5. El PGRD debe incluir una combinación de medidas estructurales y no estructurales, así como también recomendaciones para abordar temas ambientales relevantes (manglares que proveen servicios ecosistémicos en términos de beneficios ecológicos y de protección contra inundaciones en zona portuaria o problemas potenciales relacionados con derrames de materiales peligrosos como un impacto potencial derivado de un terremoto, por ejemplo), aun si estas son de carácter cualitativo. El Apéndice G incluye algunos ejemplos de medidas de mitigación de riesgo.

Es importante documentar la justificación de cada medida seleccionada en términos de eficacia para alcanzar los objetivos de reducción de riesgo mediante una explicación cualitativa de la importancia del beneficio de la reducción de riesgo y un análisis del riesgo residual. A continuación se presenta un esquema general de un PGRD generado con base en una evaluación cualitativa.

1. Resumen de la evaluación cualitativa del riesgo de desastres y cambio climático

- a. Riesgo cualitativo estimado (por amenaza prioritaria)
 - i. Riesgo de línea de base sin el proyecto (especialmente para las comunidades aledañas)
 - ii. Riesgo con el proyecto (riesgo para la infraestructura y las operaciones y generación o exacerbación del riesgo para el entorno y las comunidades aledañas)

2. Identificación y priorización de las opciones de gestión y reducción de riesgo

3. Plan de gestión

- a. Medidas enfocadas en el diseño, la construcción y la operación del proyecto
 - i. Para el proyecto
 - ii. Para terceros (comunidades aledañas)

5.2.4 Vínculos y concordancia entre el análisis cualitativo completo y análisis cuantitativos posteriores

Si bien un análisis de riesgo cuantitativo y completo como el descrito en este apartado puede constituirse en un producto final al que se asocia un PGRD, en el caso en que la viabilidad técnica y económica del proyecto no pueda garantizarse con dicho nivel de análisis, éste derivará para todos o, más probablemente, para algún modo de falla en concreto, en la necesidad de un análisis cuantitativo de mayor o menor complejidad. También será necesario completar el PGRD propio del Paso 4 con los resultados asociados al análisis cuantitativo de todos o algunos de los modos de falla en el Paso 5. Éste es un hecho de especial relevancia por muchos aspectos, entre los que destacan:

- El nivel requerido en el análisis cuantitativo de riesgos posterior (si se determinó necesario) no se asocia al proyecto completo sino a modos de falla específicos del mismo. Podrán convivir modos de falla a los que se asocie un nivel de detalle cualitativo con otros modos de falla que ameriten un nivel de detalle cuantitativo de mayor o menor complejidad.
- El vínculo entre el Paso 4 y el Paso 5 debe mantenerse pese a pertenecer conceptualmente a fases distintas de la Metodología (Fase II y Fase III). Esto implica que los Términos de Referencia para el análisis cuantitativo (Paso 5) deben necesariamente incluir una revisión del análisis cualitativo (Paso 4) de manera que: (i) se garantice la vinculación entre el análisis cuantitativo y las características específicas del proyecto en términos de amenaza, vulnerabilidad y criticidad, y (ii) se lleve a cabo un esfuerzo proporcionado y útil en el nivel de análisis requerido para cada modo de fallo. Véase el Apéndice I para acceder a modelos de Términos de Referencia.

Como se verá en el siguiente capítulo, para aquellos modos de falla que requieran un análisis cuantitativo, la profundidad de éste también debe ser proporcional a: (i) la disponibilidad de datos, (ii)

el impacto de las incertidumbres climáticas y de dinámica poblacional, (iii) la existencia de criterios de tolerabilidad y/o aceptabilidad en el sector o subsector, y (iv) la potencial dependencia de la viabilidad técnica y económica del conjunto del proyecto. Esto se refleja en un amplio abanico de casos relativamente simples y otros muy complejos, tal y como se refleja también en los Términos de Referencia genéricos del Apéndice I de esta Metodología.

Al establecerse este mecanismo de unión entre los trabajos cualitativos (íntimamente ligados a la realidad ingenieril, geográfica y social del proyecto a través de la identificación de modos de falla) y cuantitativos (íntimamente ligados a operadores matemáticos y funciones estadísticas), se pretende evitar:

- Preponderancia de los análisis de amenazas, sobre la base de la mera localización del proyecto.
- Desacoplamiento entre la ingeniería del proyecto y las características específicas de las infraestructuras y los análisis de riesgo, lo que dificulta que éstos puedan aportar verdadero valor añadido.
- Falta de planificación y ponderación en los esfuerzos de simulación y modelación, ante la falta de un marco conceptual que defina la estrategia y la oportunidad de cada cálculo en términos de las decisiones a tomar.

Por último, cabe retomar en este punto los ejes principales de cumplimiento de la Política de Gestión de Desastres, pues es la clave de bóveda sobre la potencial viabilidad técnica y económica del proyecto. En particular, según se cita textualmente:

“Los proyectos con los sectores público y privado financiados por el Banco incluirán las medidas necesarias para reducir el riesgo de desastres al nivel aceptable que determine el Banco sobre la base de las normas y las prácticas generalmente aceptadas. El Banco no financiará

proyectos que, según su análisis, acrecienten la amenaza de pérdida de vidas humanas, lesiones importantes, trastornos económicos mayores o daños materiales graves imputables a amenazas naturales”.





Por tanto, el nivel de análisis debe estar orientado a ser suficiente para poder justificar que se cumple dicha condición. Al evaluar el riesgo para la población y las comunidades aledañas, es necesario tener en cuenta que se debe identificar por separado el riesgo incremental y los impactos a terceros generados por la ejecución del proyecto, tal y como también se recoge en los Términos de Referencia genéricos del Apéndice I.

En consecuencia, pueden existir casos en los que la ejecución de un proyecto genere impactos nuevos o adicionales sobre terceros que no serían posibles sin la existencia del proyecto, pero que, en términos de riesgo, el proyecto lo reduce. En este caso la viabilidad del proyecto no se vería comprometida, independientemente de que esos impactos deban ser identificados y evaluados.

A continuación se presentan dos ejemplos. El primero corresponde a una ficha de resumen de un modo de falla específico donde se describe el modo de falla, se incluye un dibujo ilustrativo y se analizan factores que pueden favorecer u obstaculizar el riesgo asociado a este modo de falla. El segundo ejemplo presenta un caso concreto de análisis de riesgos cualitativo del que se deduce la necesidad de analizar cuantitativamente (Paso 5) algunos modos de falla. Este ejemplo fue tomado de Escuder-Bueno y otros (2016).

5.2.5. Ejemplo 1: Modo de falla para un proyecto vial

Figura 5.7. Ejemplo de una hoja utilizada en un taller de modos de falla, en este caso, para un proyecto vial

Título del modo de falla			
Descripción del modo de falla			
<p>Durante un evento hidrometeorológico extremo el aumento del caudal del río puede ser lo suficientemente importante como para superar la capacidad de las estructuras de drenaje transversales (incluidas alcantarillas y puentes) a lo largo de la vía.</p> <p>El agua comienza a represarse aguas arriba de la estructura hasta que comienza a desbordar las márgenes del río y la estructura en sí; en este punto se interrumpe el tráfico a lo largo de la estructura.</p> <p>Si las condiciones de desbordamiento se mantienen o aumentan, puede aumentar la velocidad de flujo y la turbulencia, generando un aumento en las cargas dinámicas sobre la estructura y erosionando sus apoyos; eventualmente, y en el escenario más pesimista, el flujo puede arrastrar la estructura por completo.</p>			
Representación gráfica			
 <p>1 Avenidas</p>	 <p>2 La capacidad hidráulica es superada</p>	 <p>3 Erosión de márgenes y apoyos</p>	 <p>4 La estructura es arrasada</p>
Factores que atenúan el riesgo			
<ul style="list-style-type: none">Mediante un trazado alternativo en secciones específicas de la vía es posible evitar en gran medida áreas donde la vía corre paralela y muy cercana a los cuerpos de agua.Este modo de falla ocurre únicamente en algunos sitios específicos (no es extendido ni generalizado para toda la vía); esto significa que el daño a la vía sería parcial y en ningún caso implicaría una pérdida total de su función o causaría una pérdida considerable de vidas.			
Factores que incrementan el riesgo			
<ul style="list-style-type: none">Sucesos ocurridos en el pasado arrasaron por completo alcantarillas y puentes, lo cual indica que (posiblemente) la capacidad de diseño de las estructuras existentes no sea adecuada.En muchos casos estas estructuras son la única opción para cruzar ríos y, si fallan, algunas comunidades podrían quedar aisladas (ausencia de redundancia).En general, las cimentaciones parecen ser superficiales.El cambio climático puede aumentar la intensidad de las precipitaciones relacionadas con huracanes y los valores de descarga también debido a modificaciones en el uso del suelo y a la deforestación, lo cual incrementa el riesgo de inundación.			

5.2.6 Ejemplo 2: Análisis cualitativo completo que deriva en un análisis cuantitativo (Escuder-Bueno y otros, 2016)

Este ejemplo tomado de Escuder-Bueno y otros (2016) analiza el riesgo de desastre para un sistema de represas hidroeléctricas en una misma cuenca. El sistema de represas produce alrededor de 4 a 5 TWh de energía anualmente, lo que representa una proporción significativa del suministro energético del país. El sistema está compuesto por tres reservorios con las siguientes características:

- **Reservorio Fierza:** embalse creado por la presa Fierza, que es una presa de materiales sueltos con núcleo de arcilla construida entre 1971 y 1978. La sección es simétrica y la presa cuenta con una altura total de 167 m y un volumen de embalse de 2.700 hm³.
- **Reservorio Komani:** embalse creado por la presa Komani, que es una presa de materiales sueltos revestida en concreto construida entre 1980 y 1985. La sección es simétrica y la presa cuenta con una altura total de 115,5 m y un volumen de embalse de 500 hm³.

- **Reservorio Vau I Dejes:** embalse creado por tres presas independientes con un volumen de embalse total de 680 hm³. La presa Qyrsaqi es de materiales sueltos con núcleo de arcilla, cuenta con una presa de gravedad de concreto adyacente, tiene una altura total de 54 m y una longitud de 548 m. La presa Zadeja es de materiales sueltos (principalmente rocas) con núcleo de arcilla y tiene una altura total de 59,5 m. La presa Ragam es de materiales sueltos (principalmente rocas) con núcleo de arcilla y tiene una altura total de 21 m.

Como primera medida en el análisis de este proyecto, se revisó y analizó toda la información disponible y se realizó una visita de campo para tener un entendimiento común del proyecto. Después se realizó un taller de modos de falla donde se identificaron en total 11 modos de falla (Figura 5.8) en una sesión grupal. Estos modos de falla fueron divididos en dos grupos: fallas causadas por procesos de erosión interna y fallas causadas por sobrevertido (Figura 5.9). Cada uno de estos modos de falla fue analizado incluyendo factores que podrían acentuar o atenuar el riesgo asociado a cada uno.

Figura 5.8. Resumen de los modos de falla identificados para los reservorios en río Drin

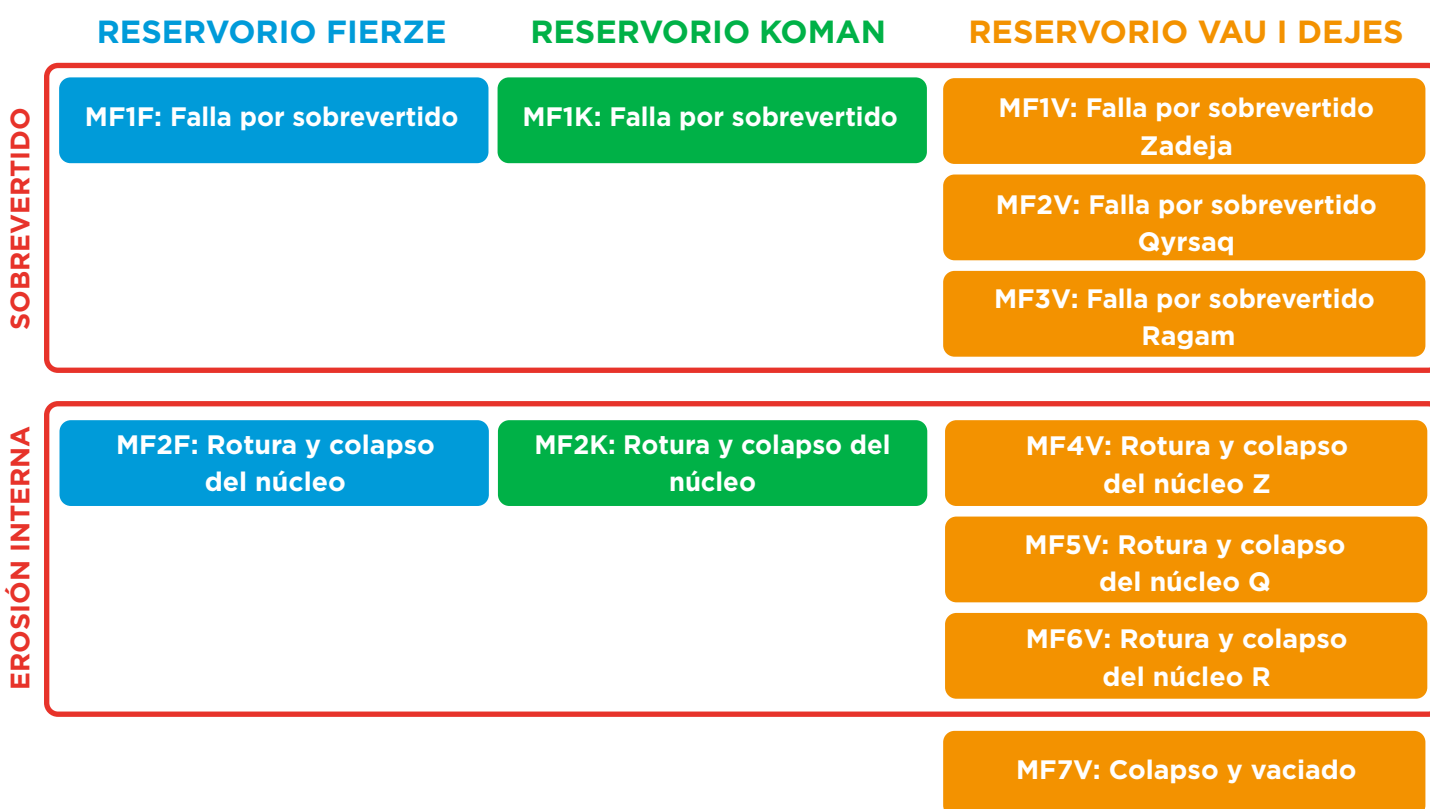


Figura 5.9. Modo de falla por sobrevertido en la presa Fierze

Este análisis cualitativo completo constituyó la base para identificar potenciales medidas de mitigación del riesgo. Se determinó que el primer grupo de modos de falla, relacionada con erosión interna, está fuertemente influenciado por incertidumbres, por lo que los esfuerzos de gestión del riesgo deberían enfocarse primero en mejorar el seguimiento y monitoreo para reducir así estas incertidumbres antes de continuar a una fase cuan-

titativa. Por otro lado, con respecto al segundo grupo, relacionado con el sobrevertido, también se determinó la necesidad de dedicar esfuerzos a reducir incertidumbres, pero se concluyó que era necesario continuar a una fase de evaluación cuantitativa. El modelo cuantitativo de riesgo, así como su utilización para evaluar medidas de mitigación propuestas, será explicado en el Paso 5 más adelante.

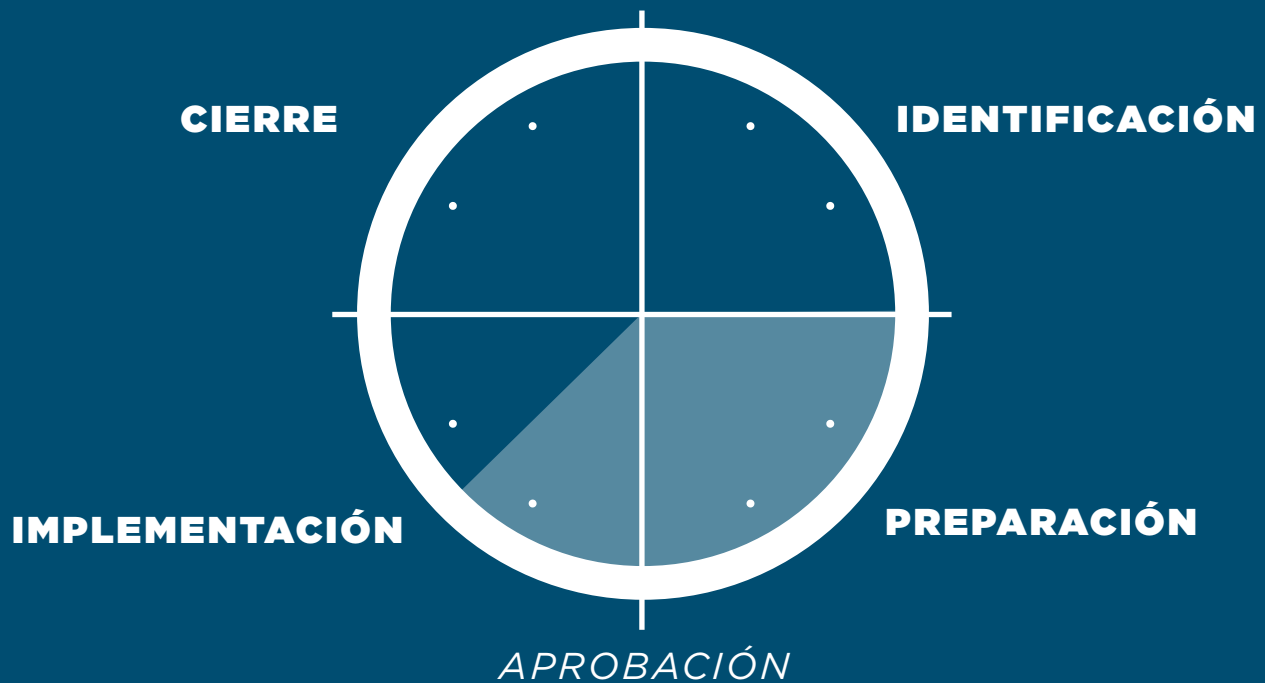


6.

Fase III: Evaluación cuantitativa

.....

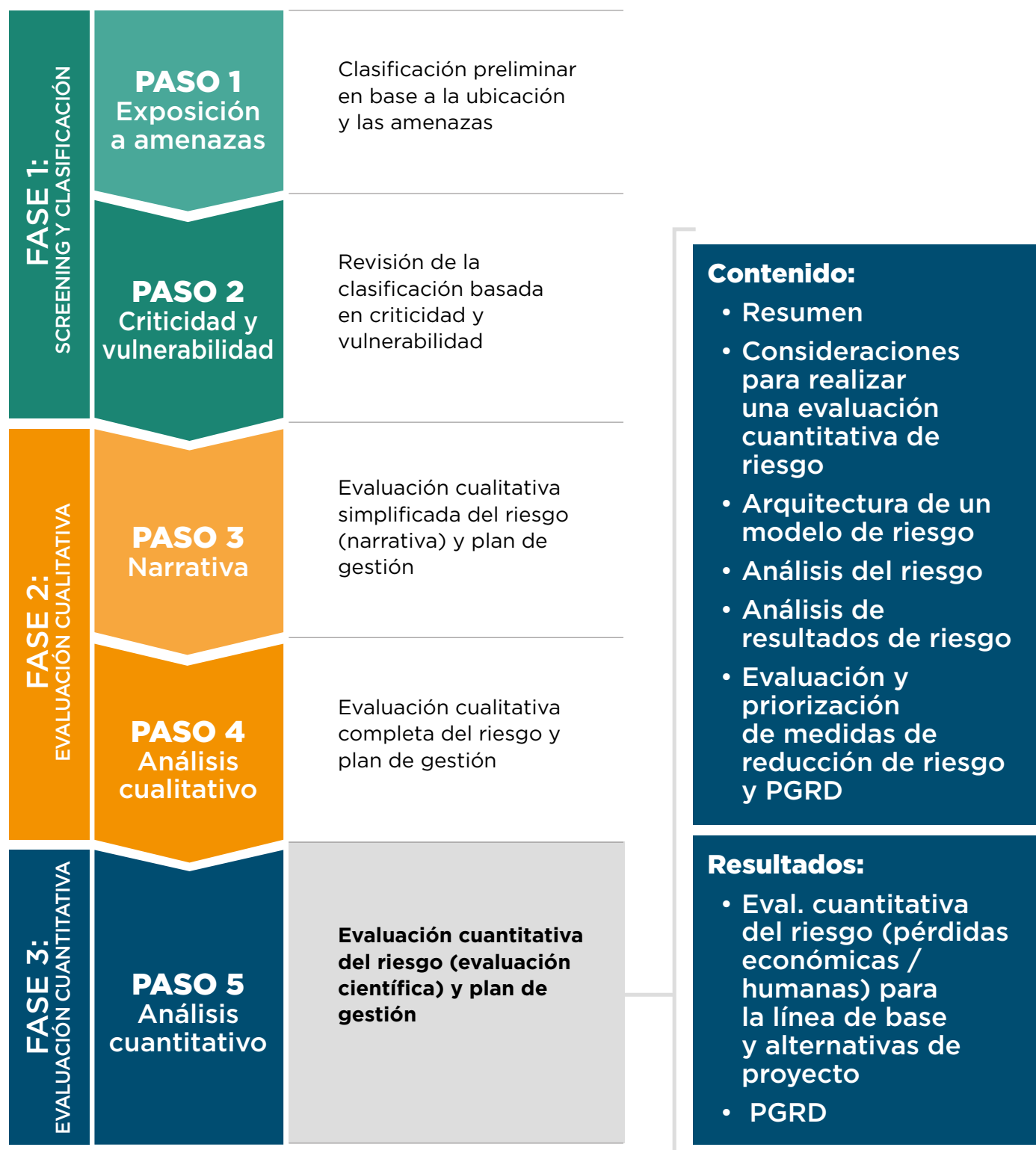
Esta fase se debe realizar una vez que se tenga información detallada sobre el proyecto (diseño preliminar o prefactibilidad, también denominado “diseño de ingeniería de front end”, o FEED por sus siglas en inglés), para que la evaluación informe los diseños finales. Si bien esto puede ocurrir durante la etapa de preparación, en algunos casos el FEED recién estará disponible durante la etapa de implementación.



6. Fase III - Evaluación cuantitativa

6.1 Paso 5: Evaluación cuantitativa del riesgo y Plan de gestión de riesgo

Figura 6.1. Paso 5



6.1.1 Resumen

El quinto paso de la Metodología implica realizar una evaluación cuantitativa del riesgo de desastres y cambio climático para los proyectos de riesgo Alto o Moderado que la requieren o que se beneficiarían con ella. Se puede adoptar diversos enfoques, que presentamos a continuación. Este paso ayudará a contestar la pregunta: ¿cuáles son las pérdidas económicas y humanas esperadas tanto para mi proyecto como resultado de la amenaza natural como para terceros (comunidades aledañas) por la posibilidad de que mi proyecto exacerbe las condiciones de riesgo de desastres?

En concordancia con lo estipulado en el punto 5.2.4 en el Paso 4, e independientemente de la complejidad del análisis que acabe resultando, es de especial interés no perder de vista los siguientes atributos básicos que deben acompañar a cualquiera de estos análisis:

- Se describe con un grado de detalle razonable el proyecto y las infraestructuras que conlleva: tipología de infraestructuras, dimensiones generales, procedimientos constructivos previstos o posibles, características de la futura explotación.
- Se identifican todas las amenazas naturales que potencialmente pueden afectar a la zona donde se ejecutará el proyecto o su área más directa de influencia.
- Se caracterizan específicamente aquellas amenazas que pueden realmente afectar a dichas infraestructuras a lo largo de su ciclo de vida.
- Se estudia el grado actual de exposición en términos de población y bienes económicos y culturales de la zona de ubicación e influencia directa de las infraestructuras.
- Se estudia la exposición “incremental” (respecto de la existente) en términos de población y bienes económicos y culturales a causa de la ejecución y/u operación del proyecto.
- Se lleva a cabo un análisis cualitativo completo

(por ejemplo, a través de un análisis de modos de falla) del proyecto frente a las amenazas naturales e intrínsecas a ese tipo de proyectos durante su ciclo de vida.

- Se estima el riesgo actual teniendo en cuenta las amenazas caracterizadas y el grado de exposición existente.
- Se estima el riesgo “incremental” (respecto del existente) atribuible al proyecto durante su ciclo de vida.
- Se considera en la estimación de riesgo (existente e incremental) el impacto del cambio climático y otras incertidumbres relevantes en función de la tipología del proyecto.
- Se hace una evaluación de la tolerabilidad y/o aceptabilidad del riesgo atribuible al proyecto.
- Se propone una serie de medidas acorde con el nivel de riesgo que se estima tolerable y/o aceptable.
- Se establecen recomendaciones razonadas que mejoran el “estado del arte” de los procedimientos habituales de diseño para ese tipo de proyectos.
- Se llevan a cabo análisis económicos de las medidas propuestas y/o recomendadas.
- Se concluye si el proyecto es viable técnica y económicamente con el conjunto de medidas propuestas y/o recomendadas.

6.1.2 Consideraciones para realizar una evaluación cuantitativa del riesgo de desastres y cambio climático

Al realizar una evaluación de riesgo cuantitativa a nivel del proyecto es fundamental tener en cuenta los siguientes aspectos:

- El riesgo debe evaluarse con los efectos del cambio climático sobre las amenazas hidro-

meteorológicas y sin ellos. Esto da como resultado dos configuraciones del riesgo de desastres;

- El riesgo debe evaluarse tanto para el proyecto en sí como para las comunidades aledañas (incluida la posibilidad de exacerbación o creación de nuevos riesgos de desastre debido a la construcción y operación del proyecto). Esto da como resultado dos perspectivas en la evaluación de riesgo;
- El riesgo debe evaluarse tanto para las condiciones de línea de base (es decir, para las condiciones previas al proyecto) como para las condiciones resultantes de introducir el proyecto propuesto asegurándose de que no se produzca un incremento adicional en el riesgo para la comunidad o el medio ambiente una vez que el proyecto se haya incorporado. Esto da como resultado dos configuraciones adicionales del modelo de riesgo;
- El riesgo debe evaluarse para cualquier alternativa propuesta sobre el diseño del proyecto y/o para cualquier medida de reducción de riesgo.

Además de estos principios básicos que determinan la configuración del modelo de riesgo, también es importante destacar que al evaluar el riesgo para las comunidades aledañas, se debe tener especial cuidado en identificar (i) por un lado, el riesgo incremental de estas comunidades antes y después de la implementación del proyecto, y (ii) por otro lado, los impactos adicionales sobre las comunidades como resultado de la implementación del proyecto. Al hacerlo, se debe tener en cuenta la diferencia entre riesgo e impactos. El riesgo se refiere al resultado final de combinar la magnitud de una consecuencia con su frecuencia de ocurrencia, mientras que los impactos se refieren a las consecuencias individuales e independientes de la frecuencia. Por lo tanto, puede haber casos donde la implementación de un proyecto reduce el riesgo general pero genera impactos nuevos o adicionales en sus alrededores que no ocurrirían sin el proyecto. Por ejemplo, la construcción de una represa puede reducir el riesgo de inundación de una comunidad aguas

abajo pero la existencia de la represa ahora genera la nueva posibilidad de que la comunidad sufra una inundación torrencial destructiva y fatal si la represa falla, incluso aunque la probabilidad sea baja. En consecuencia, el riesgo incremental se refiere a identificar cómo el riesgo de las comunidades aledañas (en torno a sucesos recurrentes pequeños, al igual que a sucesos infrecuentes grandes) cambia con respecto a la situación sin la operación, asegurándose de que la operación no exacerbe el riesgo para su entorno. Sumado a esto, los nuevos impactos generados también deben ser identificados, evaluados e incluidos en el Plan de gestión de riesgo de desastres.

Para construir este modelo de riesgo cuantitativo para el proyecto, se deben realizar cuatro tareas:

Tarea 1: Identificar un método o enfoque para evaluar el riesgo de forma cuantitativa, que sea apropiado para el proyecto y proporcional al nivel de detalle necesario y la cantidad de datos disponibles.

Tarea 2: Realizar una evaluación de riesgo de línea de base para el proyecto y las comunidades aledañas.

Tarea 3: Realizar una evaluación de riesgo sobre las alternativas de diseño del proyecto, las medidas de reducción de riesgo y el diseño final.

Tarea 4: Construir un Plan de gestión del riesgo de desastres y cambio climático que incluya una recopilación de todas las medidas de reducción de riesgo seleccionadas tras el análisis de alternativas de la tarea anterior, como así también medidas a considerar durante las fases de construcción y operación.

Siguiendo estos principios, una evaluación cuantitativa del riesgo debe seguir la estructura descrita a continuación. La estructura puede utilizarse en los términos de referencia de la evaluación cuantitativa.

A. Tarea 1: Identificación del método para realizar la evaluación cuantitativa del riesgo que sea apropiado para el proyecto y proporcional al nivel de detalle necesario y la cantidad de datos disponibles.

B. Tarea 2: Realización de la evaluación del riesgo de línea de base (condiciones actuales, antes de la intervención) para el proyecto en sí y para las comunidades situadas en el área de influencia.

Para el caso de amenazas hidrometeorológicas: para cada uno de estos análisis, se debe considerar dos configuraciones del modelo de riesgo, una sin considerar el cambio climático y la otra considerándolo.

El modelo de riesgo debe contener los siguientes componentes (véase Breve reseña sobre riesgo de desastres y cambio climático más arriba):

- a. Evaluación de amenazas:** evaluar la/s amenaza/s de interés en términos de extensión espacial, intensidad y frecuencia. Para el caso de amenazas hidrometeorológicas: es necesario considerar las amenazas según dos condiciones, es decir, considerando el cambio climático y sin considerarlo.
- b. Evaluación de exposición:** crear una base de datos geográficos de todos los activos físicos (infraestructura, edificaciones, cultivos, etc.) y activos sociales (población) que son parte de (i) el proyecto en sí, si ya existe algo y/o incluye múltiples activos distribuidos espacialmente, y (ii) el área de influencia aledaña (comunidades o asentamientos cercanos).
- c. Evaluación de vulnerabilidad:** evaluar las condiciones de vulnerabilidad de (i) el proyecto en sí (si ya existe algo) y (ii) activos y poblaciones aledañas.
- d. Evaluación de riesgo:** evaluar el riesgo resultante de la combinación de amenaza, exposición y vulnerabilidad evaluada antes. Para el caso de *amenazas hidrometeorológicas*: este cálculo debe realizarse dos veces (utilizando el modelo de amenazas sin considerar el cambio climático y considerándolo).

Los resultados de esta evaluación deben expresarse mediante las pérdidas económicas estimadas y pér-

dida de vidas humanas, sin los efectos del cambio climático y con ellos. También pueden desarrollarse mapas de amenazas y riesgo.

C. Tarea 3: Realización de la evaluación de riesgo incluyendo las alternativas de diseño, las medidas de gestión del riesgo y el diseño final.

Con base en el modelo de riesgo desarrollado en el numeral B (Tarea 2), se debe introducir el proyecto propuesto, junto con las medidas de reducción/mitigación de riesgo, medidas de intervención y las alternativas de diseño, y realizar una segunda evaluación de riesgo utilizando los mismos métodos y condiciones anteriores. Esta actividad incluye las siguientes actividades específicas:

- a. Introducir el proyecto en el modelo de riesgo:** se introduce el proyecto propuesto, incluyendo alternativas, en el modelo utilizando los diseños disponibles. Esto puede dar como resultado una modificación de algunos o de todos los módulos del modelo de riesgo; la incorporación de infraestructura puede modificar la amenaza (en general este suele ser el caso de las amenazas por inundación donde la infraestructura puede transformarse en una barrera física), la vulnerabilidad (este puede ser el caso de la rehabilitación/mejora de infraestructura existente) o la exposición (si el nuevo proyecto introduce una cantidad significativa de personas adicionales o un valor significativo de activos adicionales que ahora están expuestos a las amenazas). Se recomienda contar como mínimo con diseños de prefactibilidad para realizar la evaluación de riesgo (de lo contrario el resultado serán evaluaciones de riesgo muy genéricas con poco valor agregado), pero los diseños tampoco deben estar completamente finalizados (si están cerrados no hay posibilidad de realizar recomendaciones) para que los resultados de la evaluación de riesgo puedan influenciar el diseño en un proceso iterativo. Como parte de este proceso iterativo, las medidas de reducción del riesgo a considerar pueden ser de tipo estructural (técnicas o tecnología de ingeniería y construcción, por ejemplo) y no

estructural (políticas, reglamentación, planes de contingencia, sistemas de alerta temprana, capacitación y educación, por ejemplo). El objetivo de estas medidas es reducir el riesgo asociado a los modos de falla más críticos identificados. Estas medidas también pueden incluir el modificar los diseños o proveer guías y estrategias para reducir y gestionar el riesgo del proyecto y de su área de influencia. A la hora de identificar este tipo de medidas se deben considerar también medidas para reducir la incertidumbre de la acción del cambio climático como medidas de diseños flexibles y medidas de bajo arrepentimiento (*low-regret*).

b. Realizar una segunda evaluación de riesgo: se deben construir diferentes modelos de riesgo para cada modo de falla crítico identificado anteriormente en el Paso 4, considerando las diferentes medidas conceptualizadas al menos a nivel de pre-factibilidad. La evaluación del riesgo puede realizarse escogiendo entre una gran variedad de métodos que van desde métodos sencillos hasta altamente complejos. En muchos casos se puede utilizar un método simplificado (métodos deterministas, por ejemplo), considerando que el objetivo es identificar las medidas que logren reducir el riesgo a niveles tolerables y que hacen viable el proyecto desde una perspectiva socioeconómica. En esta tarea es clave que exista retroalimentación entre el proceso de diseño y el proceso de evaluación de riesgo.

Los resultados de esta nueva evaluación deben expresarse mediante las pérdidas económicas estimadas y pérdida de vidas humanas. Los resultados de la evaluación del riesgo final deben ser usados para estimar la viabilidad socioeconómica del proyecto así como del riesgo incremental y su tolerabilidad. Para estimar el riesgo incremental los resultados deben compararse con los resultados de la Tarea 2, analizando las diferencias de pérdidas entre el modelo de línea base y el modelo post proyecto y medidas, y comparando estos resultados con estándares de tolerabilidad. También pueden desarrollarse mapas de amenazas y de riesgo y compararse con los mapas de la Tarea 2.

C.Tarea 4: Elaboración del Plan de Gestión de Riesgo de Desastres y Cambio Climático.

Utilizando los resultados de las actividades anteriores, se debe elaborar un plan de gestión de riesgos que recoja todas las medidas (estructurales y no estructurales) para reducir y gestionar el riesgo y controlar los impactos esperados sobre terceros.

6.1.3 Arquitectura de un modelo de riesgo

El objetivo de la cuantificación del riesgo es calcular las pérdidas económicas y/o humanas. La arquitectura general de un modelo de riesgo refleja la definición básica de riesgo de desastre presentada en la sección Breve reseña sobre riesgo de desastres y cambio climático en el Capítulo 2, que consta en la Figura 6.2. Esto significa, en general y para todas las amenazas, integrar los tres componentes (amenaza, exposición y vulnerabilidad) para obtener finalmente el riesgo. El modo en que los tres componentes se integran es la esencia del modelo de riesgo.

Recuadro 6.1. Evaluación de riesgo para entornos urbanos

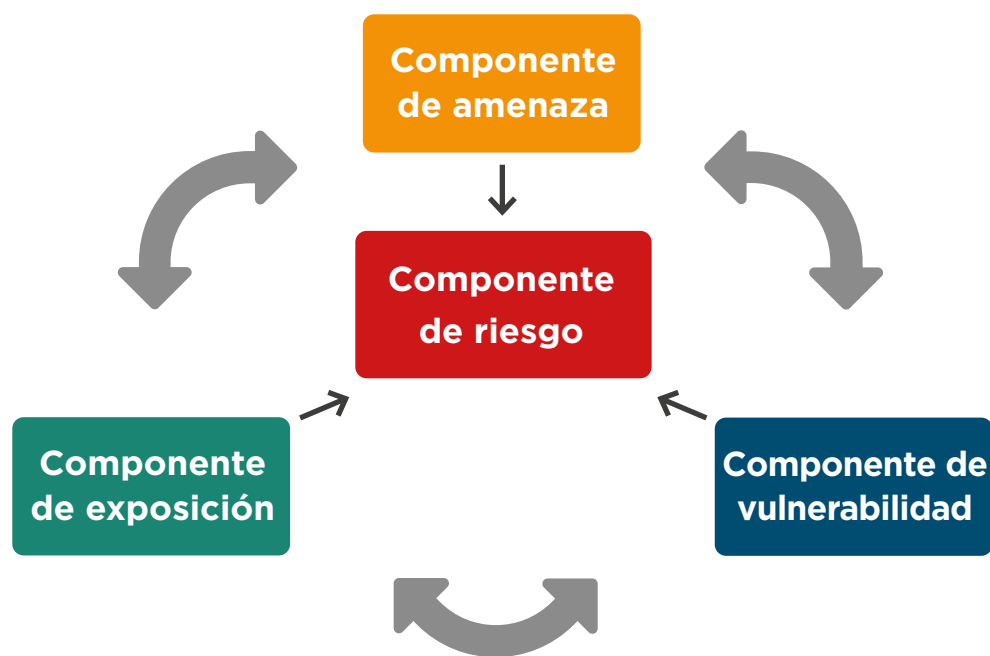
El “proyecto” al cual alude esta Metodología incluye tanto proyectos de infraestructura de sectores específicos como proyectos multisectoriales más amplios que incluyen entornos urbanos. Las consideraciones generales y la estructura general de la evaluación cuantitativa de riesgo de desastres y cambio climático descrita anteriormente también rigen para los proyectos urbanos y solo se requieren modificaciones de perspectiva menores.

Los proyectos urbanos suelen parecer más complejos que los proyectos individuales para sectores específicos porque incluyen diversos componentes de distintos sectores (transporte, energía, agua y saneamiento, recursos naturales y vivienda, por ejemplo). No obstante, esto en realidad dota a los proyectos urbanos de una perspectiva más amplia, holística y multidisciplinaria que es fundamental para una correcta gestión del riesgo. Por lo tanto, todo lo que se necesita para adaptar el enfoque de evaluación a entornos y proyectos urbanos es un par de detalles adicionales y un cambio de perspectiva.

- **Alcance del análisis:** en la mayoría de los casos el cambio más evidente es que el proyecto no es una única infraestructura (o para un único sector) sino un conjunto mayor de activos, tanto por su cantidad (barrios, poblados, ciudades, provincias, etc.) como por su tipo (multisectorial). Esto no afecta la aplicación de la Metodología, sólo implica que cobran importancia las posibles interdependencias entre sistemas y activos, y por lo tanto se las debe reconocer y evaluar, junto con la correlación de pérdidas entre activos cercanos.
- **Resolución de los datos de entrada y resultados:** en general, debido a que la cantidad de activos para los que se evalúa el riesgo es mayor, el nivel de resolución de los datos de entrada y resultados disminuye principalmente debido al aumento en los requerimientos de cómputo, pero también a una disminución en la relevancia de los resultados individuales desde la perspectiva de un portafolio más grande. Al aplicar la Metodología, esto significa simplemente utilizar los enfoques “agregados” o “tipológicos” descritos para el análisis de sistemas en las siguientes secciones, que detallan cómo desarrollar un modelo de riesgo (y sus módulos individuales de amenaza, exposición y vulnerabilidad). En el caso de portafolios más grandes (por ej., una ciudad entera) se recomienda el enfoque de evaluación de riesgo probabilista porque permite una incorporación robusta de incertidumbres y correlaciones.
- **Agregación del riesgo para análisis y elaboración de informes:** cuando el riesgo se evalúa para el proyecto en sí, deben tomarse dos puntos de vista. El primero se relaciona con el portafolio completo, donde el riesgo se evalúa para todos los elementos individuales expuestos y luego se los agrega y analiza como un todo para determinar el riesgo general del portafolio. El segundo supone, además de analizar e informar sobre el riesgo del portafolio completo, analizar el riesgo por sub-portafolios que pueden configurarse por sector o por tipología. Por ejemplo, en una intervención urbana que incluye todos los sectores mencionados anteriormente, la red vial de la ciudad puede ser un sub-portafolio para el cual el riesgo es agregado, informado y analizado, y lo mismo ocurriría con la red de suministro de agua y saneamiento, la red de telecomunicaciones y los edificios (en este último caso, el sector de uso también podría utilizarse para definir sub-portafolios). Esto permite realizar un análisis para un portafolio específico y una posterior propuesta de recomendaciones para mitigación de riesgo.
- **Riesgo para terceros:** cuando se evalúa el riesgo para terceros (comunidades aledañas mencionadas anteriormente), se deben tomar dos puntos de vista. El primero supone evaluar la posibilidad de exacerbación del riesgo para los activos cercanos que puedan existir en el área urbana que se analiza pero que no son parte de la intervención (por ej., la intervención puede consistir en rehabilitar un canal de drenaje en un barrio, pero también debe evaluarse el riesgo incremental para otros barrios situados aguas arriba y aguas abajo de las obras). El segundo supone evaluar la posibilidad de exacerbación del riesgo para otros asentamientos urbanos (o rurales) cercanos fuera del centro urbano que se analiza (por ej., la intervención puede consistir en construir un muro de protección de un río para una ciudad, pero el riesgo incremental también debe evaluarse para otras poblaciones o ciudades situadas aguas arriba y aguas abajo de la ciudad).

Por ejemplo, el programa de asistencia técnica no reembolsable Ciudades Emergentes y Sostenibles (CES), lanzado por el BID en 2011, proveyó apoyo directo a los gobiernos nacionales y subnacionales en el desarrollo y la ejecución de planes de acción para ese tipo de ciudades. El programa CES aplicó una perspectiva integrada y multidisciplinaria para identificar, organizar y priorizar intervenciones urbanas con el fin de atender los desafíos principales que impiden un desarrollo y crecimiento sostenible de las ciudades emergentes en América Latina y el Caribe. Este enfoque transversal se basó en tres dimensiones: (i) sostenibilidad ambiental y ante el cambio climático, (ii) sostenibilidad urbana y (iii) sostenibilidad fiscal y de gobernanza. Dentro de la primera dimensión, los estudios de riesgo de desastres y cambio climático se han convertido en un elemento clave para la planificación del crecimiento de muchas ciudades.

El documento Bases Generales para el Desarrollo de Estudios de Reducción del Riesgos Hidroclimáticos en Ciudades: lecciones aprendidas de la iniciativa “Ciudades Emergentes y Sostenibles” ante el reto del cambio climático en Latinoamérica y el Caribe (García y otros, 2019) provee más detalles al respecto. Su objetivo es compartir las experiencias obtenidas a través de dicha iniciativa y provee recomendaciones para la preparación de estudios del riesgo generado por amenazas hidrometeorológicas en ciudades. Recoge también reflexiones y lecciones aprendidas de algunas de las ciudades con niveles de riesgo más alto de la región, muchas de las cuales son parte del programa CES, a fin de que dichas lecciones puedan ser integradas en estudios futuros.

Figura 6.2. Arquitectura de un modelo de riesgo

En la arquitectura de este modelo cada uno de los tres componentes (amenaza, exposición y vulnerabilidad) tiene su propio módulo individual y las correspondientes consideraciones técnicas y evaluaciones se realizan dentro de cada tema. No obstante, una de las características clave del modelo de riesgo es que si bien estos módulos son individuales y separados unos de otros, todos deben permitir una correlación entre sí (representada por flechas circulares en la Figura 6.2). En otras palabras, independientemente de cómo se construya cada módulo (existen diferentes opciones de métodos y modelos para cada uno), cada uno debe asegurarse de ofrecer un mecanismo de conexión/comunicación con los demás, en términos del formato de los datos de entrada y de salida, como así también de lógica técnica y métodos.

El módulo de amenaza tiene por objetivo evaluar con mayor precisión dónde y cómo podría ocurrir cada amenaza natural estudiando la extensión espacial, la intensidad y la frecuencia de la amenaza. Aquí, la forma en que una amenaza es modelada debe tener una representación espacial para que pueda comunicarse con el módulo de exposición e identificar la exposición a las amenazas y, además, debe expresarse mediante una medida de intensidad seleccionada que se corresponda con la medi-

da de intensidad utilizada por el módulo de vulnerabilidad para determinar el daño.

El módulo de exposición tiene por objetivo elaborar una base de datos georreferenciada que incluya todos los activos físicos y la población que puedan verse afectados por la amenaza natural. El módulo de la amenaza afectará el contenido de este módulo. Aquí, la forma en que la exposición es modelada debe tener una representación espacial para que pueda comunicarse con el módulo de amenaza e identificar la exposición a las amenazas y, además, debe contener la información relevante sobre características de los activos o de la población que se corresponda con los atributos utilizados por el módulo de vulnerabilidad para determinar el daño.

El módulo de vulnerabilidad tiene por objetivo evaluar de forma más precisa la propensión innata de un activo expuesto a sufrir daños al enfrentar la/s amenaza/s naturales incluidas en el módulo de amenaza. Esto implica estudiar las características inherentes de las estructuras y personas expuestas que las hacen más o menos resistentes a las exigencias impuestas por la/s amenaza/s natural/es que se estudia/n. Aquí, la forma en que la vulnerabilidad se modela debe expresarse como una función de la medida de intensidad seleccionada para la

amenaza que se corresponda con la medida de intensidad utilizada por el módulo de amenaza y, además, debe ser evaluada para las características de los activos o la población que corresponden a los atributos representados en el módulo de exposición para determinar el daño.

El módulo de riesgo se convierte entonces en el centro de cómputos de un modelo de riesgo y es responsable de integrar los tres módulos - amenaza, exposición y vulnerabilidad - de forma matemática para permitir calcular las métricas de riesgo. Las métricas de riesgo incluyen pérdidas económicas (en términos absolutos de “dólares”, o en términos relativos o porcentuales como un porcentaje del valor total del activo o portafolio) y pérdidas sociales (cantidad de vidas perdidas, personas lesionadas o afectadas, nuevamente, en términos absolutos o relativos). Dependiendo del método utilizado para calcular el riesgo, estas pérdidas adquieren diferentes significados y también pueden obtenerse métricas de riesgo adicionales. Esto se verá con mayor detalle en la siguiente sección.

Resulta importante remarcar de nuevo la necesidad de vincular el análisis cuantitativo a los resultados del análisis cualitativo, así como de llevar a cabo un tipo de análisis cuantitativo que sea coherente con la disponibilidad de datos, el impacto de las incertidumbres climáticas y de dinámica poblacional, la

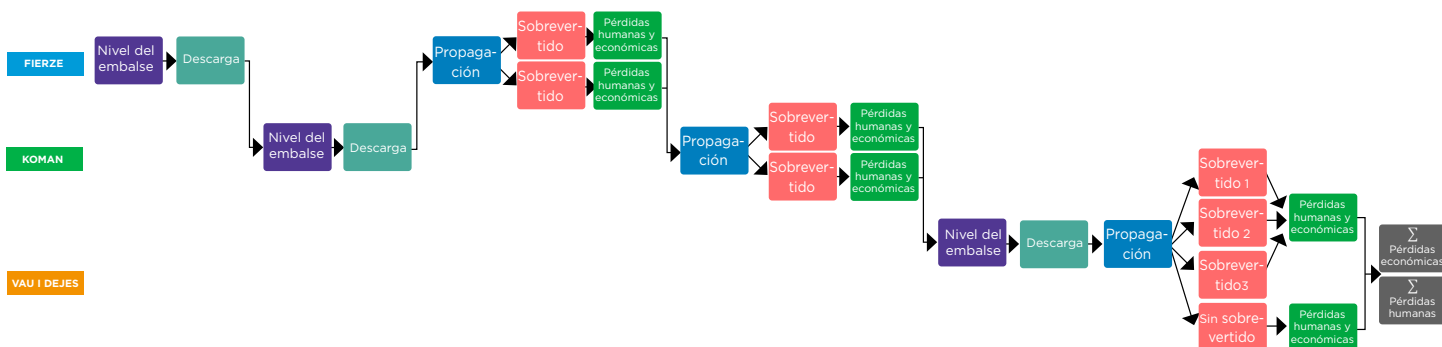
existencia de criterios de tolerabilidad y/o aceptabilidad en el sector o subsector, o la potencial dependencia de la viabilidad técnica y económica del conjunto del proyecto. A título ilustrativo se continúa con el ejemplo iniciado en la sección 5.2.6.

Ejemplo: Análisis cualitativo completo que deriva en un análisis cuantitativo (Escuder-Bueno y otros, 2016) - continuación

En la primera parte de este ejemplo presentada en la sección 5.2.6 se determinó que los modos de falla por sobrevertido requieren mayor análisis y, por lo tanto, se sugirió realizar una evaluación cuantitativa. Para realizar esta evaluación de riesgo cuantitativa, se construyó un modelo de riesgo del sistema de presas que incluye las demandas hidrológicas (la amenaza), la respuesta del sistema o los modos de falla (vulnerabilidad) y las consecuencias (riesgo - pérdidas económicas y humanas).

El modelo de riesgo (Figura 6.3) utiliza diagramas de influencia y árboles lógicos para calcular las probabilidades de falla y el riesgo (Escuder-Bueno y González-Pérez, 2014). El modelo resultante se divide en tres submodelos, uno para cada presa (Fierze, Koman y Vau I Dejes), donde los reservorios aguas abajo incorporan los caudales de salida de los reservorios aguas arriba (en los casos de falla y no falla).

Figura 6.3. Modelo de riesgo (Escuder-Bueno y otros, 2016)

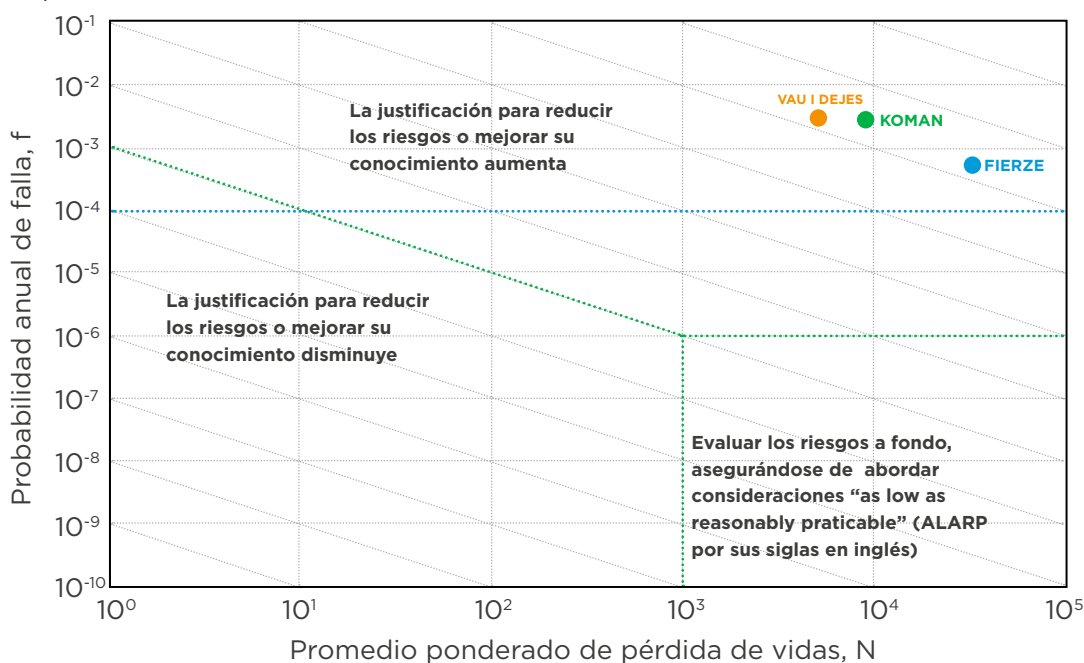


De acuerdo con esto, las condiciones de carga para cada submodelo son introducidas primero (en los nodos azules) para obtener los resultados de la modelación de la inundación (nivel máximo del embalse y caudal de descarga) para cada combinación posible de las condiciones iniciales en los tres reservorios: probabilidad del nivel inicial del embalse, hidrograma de entrada para distintos periodos de retorno y la confiabilidad de los vertederos o desagües. Se analizaron un total de $10^{13} 21.920$ casos de inundación. Estos resultados fueron usados junto con los siguientes elementos para estimar la probabilidad de falla (nodos rojos): hidrogramas de falla para cada reservorio y curvas de fragilidad que relacionan el nivel del embalse con la probabilidad de falla por sobrevvertido. Finalmente se introdujo los datos de consecuencias para los casos de falla y no falla en los nodos verdes: relaciones entre hidrogramas de salida y las consecuencias (pérdidas económicas y humanas) para los casos de falla y no falla.

Todos estos datos de entrada ya habían sido recolectados durante la revisión de documentación y las sesiones de trabajo realizadas para la evaluación cualitativa. Con esto se procedió a realizar el cálculo de riesgo: la probabilidad de cada rama del árbol de eventos se obtiene multiplicando todas las probabilidades condicionales de las subramas, y finalmente la probabilidad de falla y el riesgo total son obtenidos al sumar los resultados de todas las ramas.

Para analizar y evaluar los resultados, éstos fueron introducidos en el gráfico de tolerabilidad del United States Bureau of Reclamation (USBR) (USBR, 2011). Las guías de tolerabilidad del USBR se basan en unos gráficos llamados f-N, los cuales representan la relación entre la probabilidad de falla (f) y la pérdida de vidas promedio (N), como se puede ver en la Figura 6.4. Este gráfico define un primer límite en la probabilidad anual de falla (una línea horizontal) en el valor de 10^{-4} , un número que está relacionado con el riesgo individual, a la responsabilidad pública del diseño del proyecto y a la protección de la imagen de la organización. También se establece un segundo límite en la pérdida de vida promedio en el valor de 10^{-3} (una línea vertical). Estos límites definen áreas diferentes. En general, entre más lejos se esté de estos límites hacia la parte superior y la esquina superior derecha del gráfico, las medidas de reducción del riesgo son más justificadas. De manera similar, entre más lejos se esté de estos límites hacia la parte inferior y esquina inferior izquierda del gráfico, las medidas de reducción del riesgo son menos justificadas. Como se puede ver en la Figura 6.4, los reservorios analizados presentan un alto riesgo (altas probabilidades de falla y elevadas consecuencias sociales localizadas en la esquina superior derecha); por lo tanto, se justifica actuar para reducir este riesgo.

Figura 6.4. Estimaciones del riesgo graficadas en las guías de tolerabilidad del USBRD (Escuder-Bueno y otros, 2016)



Además, también es importante cuantificar el impacto de las incertidumbres en la estimación de línea base del riesgo, enfocándose en cómo puede afectar la toma de decisiones para la elección de medidas de mitigación del riesgo. Las incertidumbres principales identificadas en los datos de entrada están relacionadas con la disponibilidad de datos hidrológicos, la complejidad de la operación del sistema y la estimación de las consecuencias (pérdidas económicas y humanas). Por lo tanto, se realizó un análisis de incertidumbre sobre los datos hidrológicos, los niveles iniciales de los embalses y las distintas posibilidades de operación del sistema. Los resultados mostraron que el impacto principal sobre los resultados de riesgo provenía de la incertidumbre en los datos hidrológicos. Finalmente, estos resultados fueron usados para proponer varias opciones de mitigación del riesgo, y éstas fueron evaluadas a su vez por el mismo modelo cuantitativo de riesgo:

- Plan de Acción de Emergencia.
- Programa de mantenimiento de compuertas.
- Restauración del vertedero 3 en la presa Fierze.
- Nuevo vertedero 5 en el reservorio Fierze
- Nuevo vertedero 5 en el reservorio Koman.
- Nuevo límite de embalse en el reservorio Koman para restringir el caudal de salida en el reservorio Fierze como parte de una revisión y mejora general de las reglas de descarga.

- Rehabilitación del desagüe de fondo de la presa Qyrmaq.

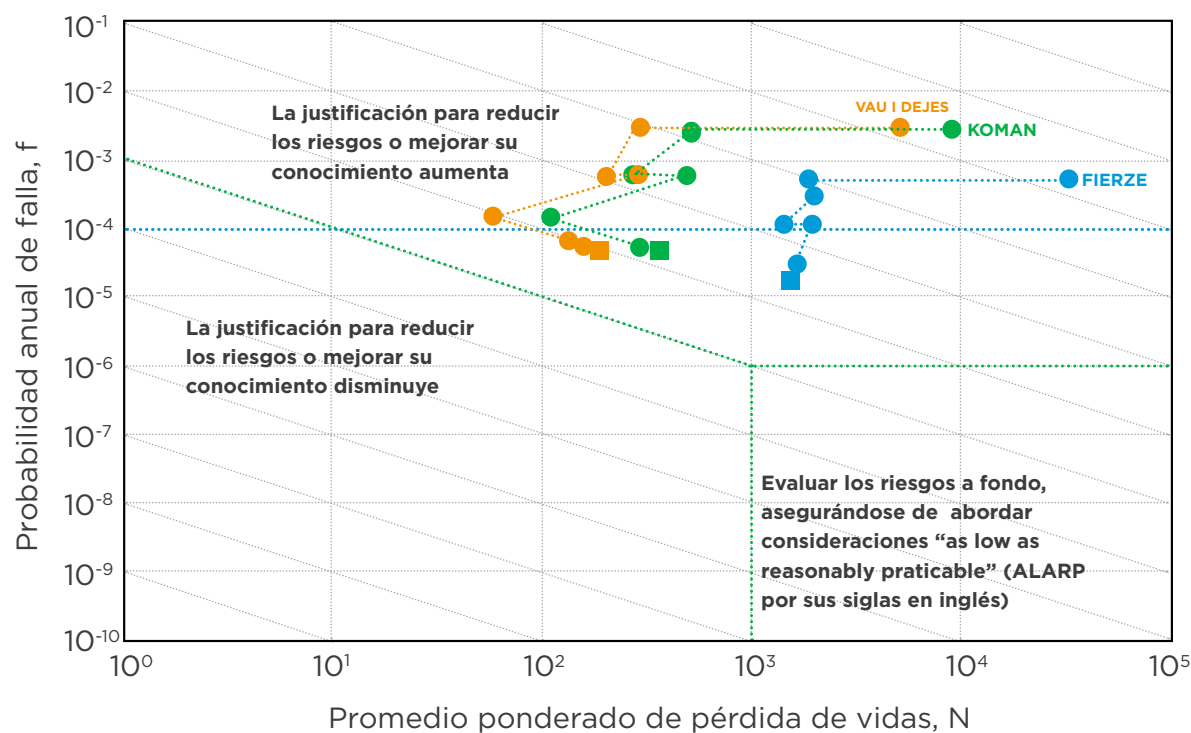
Estas medidas estructurales y no estructurales fueron incorporadas y evaluadas en el modelo de riesgo, y fueron finalmente priorizadas con base en la reducción del número de pérdida de vidas, siguiendo el principio de eficiencia social. Para ello se siguió un proceso iterativo donde en cada etapa del proceso se recalcula el riesgo para cada medida y se elige la opción con el menor riesgo social (véase la Tabla 6.1). La Figura 6.5 muestra el proceso seguido para incorporar estas medidas para cada reservorio en el gráfico f-N.

La primera medida implementada en el proceso es el Plan de Acción de Emergencia, resaltando la importancia de establecer procedimientos de emergencia, sistemas de alerta y programas de educación para reducir las potenciales pérdidas de vida aguas debajo de este sistema de presas. La segunda medida es la mejora del mantenimiento y control de las compuertas. Solamente con estas dos medidas las pérdidas humanas se reducen en casi dos órdenes de magnitud. Además, los nuevos vertederos en Koman y Fierze y la restauración del vertedero 3 en Fierze reducen el riesgo otro orden de magnitud. Finalmente, la rehabilitación del desagüe de fondo en QYrmaq sigue disminuyendo el riesgo, aunque de manera menos drástica.

Tabla 6.1. Secuencia de implementación de medidas de mitigación del riesgo (Escuder-Bueno, y otros, 2016)

Paso	Medida
1	Plan de Acción de Emergencia
2	Programa de mantenimiento de compuertas
3	Nuevo vertedero 5 en el reservorio Fierze
4	Nuevo vertedero 5 en el reservorio Koman
5	Restauración del vertedero 3 en la presa Fierze
6	Nuevo límite de embalse en el reservorio Koman
7	Rehabilitación del desagüe de fondo de la presa Qyrmaq

Figura 6.5. Cambios en el riesgo en un gráfico f-N siguiendo la secuencia de implementación de medidas de mitigación (Escuder-Bueno y otros, 2016)



En conclusión, los resultados de la evaluación del riesgo muestran que para mitigar el riesgo de manera eficaz, se necesita tanto medidas estructurales (rehabilitación o construcción de nuevas estructuras) como no estructurales (mejor mantenimiento y control de compuertas, recopilación

de datos, reglas de operación más claras y procedimientos de emergencia). También resultó evidente que el desarrollo de una cultura de seguridad de presas en el diseño del proyecto y en todas las partes interesadas es clave.

6.1.4 Análisis del riesgo

Selección del método de análisis del riesgo

Debido a que el módulo de riesgo vincula todos los módulos individuales - amenaza, exposición y vulnerabilidad -, los métodos para la evaluación de riesgo tienen una correspondencia con los de los módulos independientes. Esta sección te orientará en la selección de un enfoque de evaluación de riesgo. La Tabla 6.2 resume las dos clases típicas de evaluación de riesgo y tres casos especiales más.

Adicionalmente, de acuerdo con Morales-Torres y otros (2019), la evaluación de la incertidumbre juega un papel importante en la evaluación y gestión de sistemas complejos. En general se consideran dos tipos de incertidumbres:

- Incertidumbre natural o aleatoria: producida por la variabilidad inherente en los procesos naturales. Un ejemplo es la variabilidad en las cargas en una estructura, como la variabilidad de la magnitud de una inundación. Este tipo no se puede reducir, pero sí se puede estimar.
- Incertidumbre epistémica: resulta de no tener suficiente conocimiento o información sobre el sistema bajo estudio. Esta falta de conocimiento puede responder a que existen datos insuficientes o a que el comportamiento de una estructura no está siendo correctamente representado. Cuanto mayor sea el conocimiento que se tiene sobre una estructura o sistema, más se puede reducir este tipo de incertidumbre.

Abordar la incertidumbre aleatoria y la epistémica ha sido siempre uno de los puntos de discusión en los análisis cuantitativos de riesgo para la gestión de la seguridad de infraestructura. El enfoque más común consiste en atender dichos

tipos de incertidumbre por separado a través de un análisis probabilista que permite obtener una distribución de probabilidad de los resultados de riesgo basada en variaciones de la incertidumbre epistémica. Por lo tanto, es importante resaltar que tanto en enfoques completamente probabilistas, como en enfoques probabilistas simplificados (véase la Tabla 6.2), solo la incertidumbre aleatoria es usualmente incorporada en los cálculos, mientras que la epistémica requiere de un tratamiento secundario separado.

La selección del método de análisis de riesgo depende de las necesidades específicas del proyecto. Usualmente esto se relaciona con la disponibilidad de datos sobre las amenazas y el proyecto, la disponibilidad de modelos para las amenazas y el tipo de proyecto, las limitaciones de tiempo y/o recursos para realizar el análisis, el tipo de análisis (de elementos individuales o múltiples), el tamaño y la criticidad del proyecto, el nivel de detalle requerido para los resultados y el tipo de resultados esperados, así como el tipo de decisiones a tomar. En la mayoría de los casos, esto implica un trade-off entre los esfuerzos computacionales y el nivel de detalle. Sin embargo, de todos los factores mencionados, probablemente el más importante es el tipo de decisiones a tomar, es decir, cuál es el conocimiento que se busca: ¿el riesgo general de una ciudad o los daños específicos para una o dos estructuras críticas? ¿Es necesario conocer el riesgo considerando todo tipo de eventos, pequeños y grandes, o un evento específico o una intensidad específica? ¿Se propondrán estrategias de gestión del riesgo a nivel general o detalles específicos para los diseños? Los métodos descritos en esta Metodología cubren un amplio rango de necesidades y requerimientos. Ninguno de los métodos se recomienda por encima de los otros, sino que deben analizarse caso por caso para seleccionar el más apropiado.

Tabla 6.2. Métodos de evaluación del riesgo

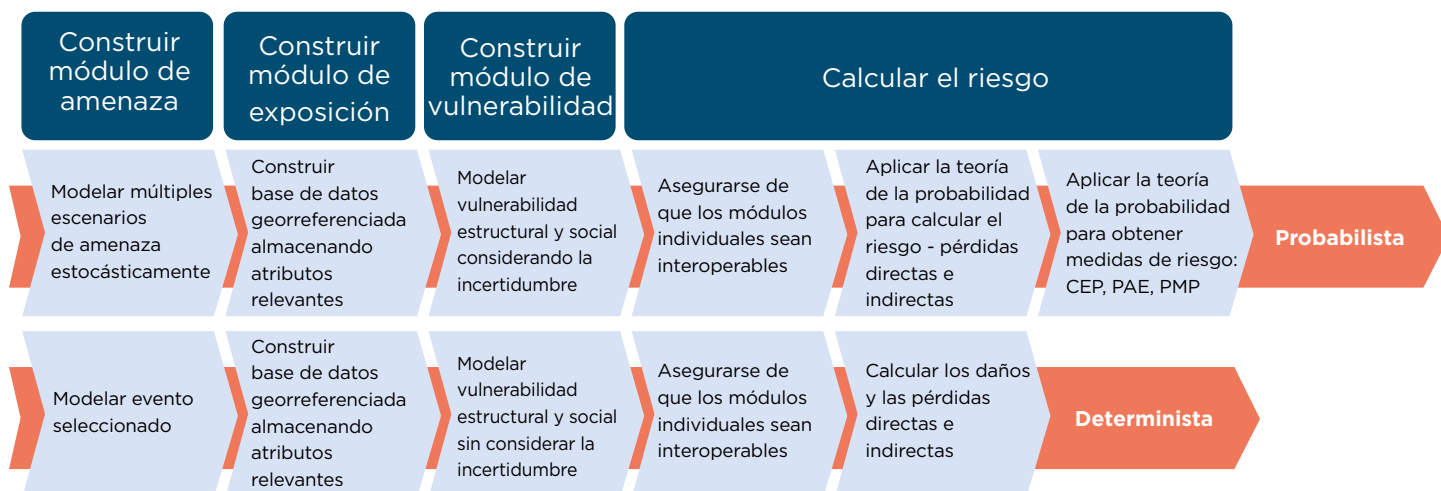
Método	Descripción
Evaluación probabilista del riesgo	<p>Una evaluación probabilista del riesgo tiene como objetivo abordar algunas de las incertidumbres que son inherentes al riesgo de desastres. Estas incertidumbres proceden de: (i) la limitada disponibilidad de datos históricos, (ii) del hecho de que los sucesos catastróficos son muy infrecuentes, (iii) de que se tiene una ventana de observación pequeña de los desastres y (iv) de que las tendencias climáticas están cambiando, entre otros factores (ERN-AL, s.f. a).</p> <p>En una evaluación probabilista los componentes que integran el riesgo (principalmente la amenaza y la vulnerabilidad) son modelados y luego integrados matemáticamente de forma probabilista reconociendo e incorporando formalmente la incertidumbre en todo el modelo. Así el modelo puede representar estadísticamente la probabilidad de todos los sucesos posibles, incluso aquellos que no han ocurrido aún, lo cual lo transforma en un modelo prospectivo. Este tipo de evaluación puede aplicarse tanto a proyectos individuales como a grandes portafolios (por ej., ciudades, sistemas/redes, a nivel regional e incluso de país), siempre y cuando se realicen los ajustes necesarios al modelo para responder a los diferentes niveles de detalle requerido en cada caso.</p> <p>Si bien se describen tres tipos de análisis probabilistas, cabe notar que es posible aplicar otros tipos al combinar varios de sus elementos de distintas maneras. Por ejemplo, se puede crear modelos donde algunos componentes son tratados de forma completamente probabilista, otros de forma probabilista simplificada y otros de forma determinista.</p>
	<p>Evaluación totalmente probabilista: para el módulo de amenaza, se generan decenas, cientos o miles de eventos estocásticos siguiendo la teoría probabilista y estadística, y todos estos eventos se utilizan en el cálculo de riesgo. Para el módulo de vulnerabilidad, el comportamiento y la respuesta estructural reciben un tratamiento probabilista que determina las probabilidades de daño y la incertidumbre asociada. Para el módulo de riesgo, se utiliza el teorema de la probabilidad total para integrar los eventos estocásticos y los valores de la intensidad de la amenaza, exposición y vulnerabilidad para calcular daños esperados y sus probabilidades asociadas, propagando las incertidumbres en el modelo. El tratamiento totalmente probabilista de los cálculos de riesgo da como resultado la distribución de probabilidades de pérdidas. Con base en dicha distribución, se obtienen las métricas de riesgo: la curva de excedencia de pérdidas (CEP), la pérdida anual esperada (PAE) y las pérdidas máximas probables (PMP). Véase Probabilistic Evaluation of Natural Hazards de CAPRA en https://ecapra.org/node/172. Este método puede ser difícil de implementar para infraestructuras individuales dado que requieren un nivel de detalle alto para el análisis y determinar las funciones de probabilidad de todos los componentes del modelo de riesgo con este nivel de detalle resulta difícil e impráctico; sin embargo, puede ser más apropiado para análisis de portafolios donde los detalles de elementos individuales no son necesarios, por ejemplo en entornos urbanos.</p>
	<p>Evaluación probabilista simplificada: en este caso, en lugar de usar simulaciones estocásticas, se modelan solo algunos periodos de retorno de la amenaza. Los periodos de retorno se definen a través de diferentes metodologías. Algunas de las más frecuentes son: (i) el análisis estadístico de mediciones instrumentales de eventos que generan las amenazas (precipitación, terremotos), (ii) el análisis geomorfológico de eventos pasados y (iii) el análisis estadístico de registros históricos (encuestas, artículos de periódicos). Los periodos de retorno son elegidos para tratar de cubrir todo el espectro de eventos posibles, desde eventos recurrentes hasta eventos esporádicos. Las pérdidas para los periodos de retorno de la amenaza considerados son estimadas al combinar estos resultados de la amenaza con el módulo de vulnerabilidad (curvas de vulnerabilidad o fragilidad usadas de forma probabilista). No obstante, debido a que el módulo de amenaza no cumple con los requerimientos para calcular el riesgo utilizando el método totalmente probabilista, las incertidumbres aleatorias asociadas a la amenaza no se propagan en el modelo. Esto todavía permite calcular la PAE si se utilizan varios periodos de retorno (en general se requieren cinco o más periodos de retorno para un análisis adecuado). Es posible obtener una aproximación o proxy de la CEP y PMP mediante una extrapolación de los resultados de los periodos de retorno estimados pero esto incorpora incertidumbres adicionales al modelo (véase el Manual del Reino Unido como un ejemplo). Este enfoque es más apropiado para infraestructuras individuales dado que el método de cálculo permite ahondar más en los detalles de cada componente.</p>
	<p>Evaluación mixta probabilista-determinista: en este método algunos componentes del riesgo son modelados de manera probabilista y otros de manera determinista. Por ejemplo, suelen darse los siguientes casos: (i) la amenaza se modela de manera probabilista y se utilizan solo algunos periodos de retorno (probabilista simplificado) y la vulnerabilidad se evalúa de manera determinista, o (ii) la amenaza se modela de manera determinista y la vulnerabilidad de manera probabilista, un enfoque común para evaluar el riesgo por deslizamientos. Dado que algunos de los módulos no cumplen con los requerimientos para calcular el riesgo utilizando el método totalmente probabilista, las incertidumbres aleatorias no se propagan en el modelo. Para el primer caso, y de manera similar al caso probabilista simplificado, se puede obtener la PAE y un proxy de la CEP y PMP aplicando una extrapolación de los valores de pérdida correspondientes a los periodos de retorno de la amenaza. Este método puede utilizarse para estimar la respuesta de infraestructuras complejas donde, por ejemplo, se requieren modelos de elementos finitos y resulta impráctico modelar un gran número de escenarios de la respuesta estructural. Asimismo, en la modelación de modelos de riesgo complejos, es más viable utilizar una combinación de los métodos probabilistas y deterministas.</p>

Método	Descripción	
Evaluación determinista del riesgo	En una evaluación determinista del riesgo, la incertidumbre no se considera ni incorpora en el modelo de riesgo y se recurre a datos empíricos para evaluar eventos individuales específicos. Las típicas evaluaciones deterministas de riesgo incluyen recrear y calcular el riesgo para eventos históricos y modelar y calcular el riesgo para escenarios pesimistas. Las pérdidas calculadas no tienen una incertidumbre asociada y por lo tanto son deterministas. Cabe destacar que en condiciones de cambio climático la pérdida de estacionariedad podría generar nuevos tipos de amenazas y eventos más grandes, y esto debe ser tenido en cuenta. Este enfoque puede utilizarse junto con una evaluación probabilista del riesgo para validar y calibrar el modelo. Este tipo de evaluación es más adecuada para proyectos individuales debido a que es más importante abordar las incertidumbres en portafolios más grandes.	<p>Evento histórico pasado: pueden existir datos sobre la amenaza, exposición y vulnerabilidad para un evento pasado que podría ser modelado y recreado. Para el módulo de amenaza, se recopilan y recrean los datos del evento mediante un mapeo o bien modelación. Para los módulos de exposición y vulnerabilidad, se puede recrear la exposición y la vulnerabilidad existente durante el evento o bien se puede construir la exposición y la vulnerabilidad actual para analizar qué pasaría en la actualidad si el evento pasado sucediera en el presente. Para el módulo de riesgo, y debido a que no se incorporan incertidumbres en el modelo, los daños y las pérdidas se determinan de forma directa con base en el evento dado y las características de exposición y vulnerabilidad asumidas como dadas. Este enfoque puede utilizarse para ayudar al público a entender mejor el concepto de riesgo, debido a que ya ha ocurrido y puede ser recordado.</p>
		<p>Caso pesimista: el riesgo también puede calcularse para un evento debido a una amenaza natural que represente condiciones extremas o pesimistas. Para el módulo de amenaza, se utilizan datos de configuración básicos del evento para modelarlo. Para los módulos de exposición y vulnerabilidad, la exposición y la vulnerabilidad presentes se construyen para analizar qué pasaría si ocurriese hoy el suceso debido a la amenaza natural correspondiente al caso pesimista. Para el módulo de riesgo, y debido a que no se incorporan incertidumbres en el modelo, los daños y las pérdidas se determinan de forma directa con base en el evento dado y las características de vulnerabilidad asumidas como ciertas. Este enfoque se utiliza en general para probar y evaluar escenarios extremos.</p>
Toma de decisiones robustas (RDM, por sus siglas en inglés)	Este tipo de evaluación es más adecuado para grandes portafolios como sistemas o redes donde se requieren acciones o recomendaciones de más alto nivel. La evaluación de riesgo de tipo RDM aborda la incertidumbre del modelo de riesgo, más específicamente la incertidumbre profunda. La incertidumbre es, de hecho, el principal foco de atención, aunque no se la cuantifica explícitamente como en la evaluación probabilista del riesgo. La toma de decisiones robustas (RDM) o toma de decisiones en condiciones de incertidumbre profunda (DMDU) define desde el inicio múltiples escenarios de solicitudes de demanda (por ej., escenarios de amenazas, proyecciones de cambio climático, vulnerabilidad del proyecto) y posibles acciones en general a nivel estratégico, y evalúa todos los escenarios analizando los riesgos y beneficios. Al final busca un acuerdo sobre posibles acciones seleccionando acciones robustas que maximicen los beneficios para todo el rango probable de posibles condiciones.	
Análisis histórico de línea de tiempo²⁰	Este tipo de evaluación de riesgo se aplica principalmente solo al sector agrícola para el que no son comunes los métodos de evaluación de riesgo detallados debido a que el estado del arte aún está en desarrollo. Este enfoque del riesgo genera una serie cronológica de sucesos históricos (principalmente de amenazas hidrometeorológicas) y una serie cronológica paralela de producción agrícola e intenta establecer una relación causal entre las dos y estimar a partir de ello las pérdidas económicas anuales promedio.	
Evaluación de exposición	Si bien no se trata de una evaluación de riesgo , este análisis puede funcionar como una evaluación cuantitativa simplificada. Este análisis, que carece del componente de vulnerabilidad, consiste en superponer los módulos de amenaza y exposición para analizar qué está expuesto a la/s amenaza/s.	

20 Este tipo de análisis es un método de evaluación de riesgo simplificado utilizado específicamente para el sector agrícola. Este método es tratado como un caso especial en la Metodología debido a que los modelos de riesgo de desastres más detallados para el sector agrícola aún son muy nuevos y están en desarrollo; por lo tanto, los otros enfoques más estandarizados detallados en esta Metodología para los componentes de amenaza, exposición y vulnerabilidad no necesariamente sirven siempre para este sector.

Las actividades que conforman cada uno de los dos enfoques (probabilista y determinista) se encuentran resumidas en el siguiente gráfico de flujo.

Figura 6.6. Resumen de actividades para desarrollar una evaluación de riesgo



Evaluación probabilista del riesgo

Este tipo de evaluación ofrece al usuario más información sobre las posibles pérdidas, incluso informa cuán probable es que ocurran (ofrece la distribución de probabilidades de las pérdidas). De los dos enfoques, éste es el más intensivo en términos de recursos. Se pueden identificar dos grandes grupos de actividades: el primero incluye la construcción de los tres módulos individuales de amenaza, exposición y vulnerabilidad, el segundo se enfoca en realizar los cálculos de riesgo. Dentro del primer grupo, incluye las siguientes tres actividades: (1) modelación probabilista de la amenaza, (2) construcción de una base de datos georreferenciada que almacena todos los atributos relevantes de exposición, y (3) modelación probabilista de la vulnerabilidad estructural y social considerando las incertidumbres. Dentro del segundo grupo, las actividades restantes son las siguientes: (4) asegurarse de que los módulos de amenaza, exposición y vulnerabilidad son apropiados y pueden operar entre sí, (5) aplicar un modelo matemático probabilista adecuado para integrar todos los módulos y calcular las pérdidas directas e indirectas, y (6) utilizar el marco probabilista para calcular las medidas de riesgo de CEP, PPA y PMP.

1) Modelación probabilista de las amenazas:

Esta actividad consiste en construir un modelo probabilista de todas las amenazas que pueden afectar al proyecto. Esta actividad es explicada en detalle en la sección **Cuantificación del componente de amenaza**, incluido cómo incorporar los efectos del cambio climático). En resumen, las siguientes condiciones deben cumplirse para cada uno de los tres tipos de evaluación probabilista:

- Para el enfoque totalmente probabilista, se debe generar un conjunto de escenarios estocásticos mutuamente excluyentes y colectivamente exhaustivos. Para las amenazas hidrometeorológicas, estos escenarios deben incorporar los efectos del cambio climático y la incertidumbre.
- Para el enfoque probabilista simplificado, se utilizan valores de la intensidad de las amenazas integrados de forma probabilista con un periodo de retorno asociado. Para las amenazas hidrometeorológicas, estos valores de intensidad de amenaza deben incorporar los efectos del cambio climático.
- Para el enfoque mixto probabilista-determinista se debe determinar si el módulo de amenaza será tratado como completamente probabilista, probabilista simplificado o determinista, y en los dos primeros casos se debe seguir lo indicado anteriormente.

2) Elaboración de una base de datos geográfica sobre exposición:

Esta actividad consiste en elaborar una base de datos georreferenciada de los activos expuestos (incluidas edificaciones e infraestructura, como así también la población) que recoja todas las características relevantes para evaluar la vulnerabilidad a las amenazas naturales. Esta actividad se explica en detalle en la sección **Cuantificación del componente de exposición**.

3) Modelación probabilista de la vulnerabilidad estructural y social:

Esta actividad consiste en desarrollar un modelo probabilista de la vulnerabilidad para todos los activos físicos que son parte de la exposición, como así también de la población expuesta. Esta actividad se explica en detalle en la sección **Cuantificación del componente de vulnerabilidad**. En resumen, las siguientes condiciones deben cumplirse para cada uno de los tres tipos de evaluación probabilista:

- Para el enfoque totalmente probabilista se deben incorporar las incertidumbres en el análisis de ingeniería (para activos físicos) y en el análisis social (para la población).
- Para el enfoque probabilista simplificado, si bien se pueden incorporar las incertidumbres en los análisis de ingeniería y social (al igual que en el enfoque completamente probabilista), en general, debido a la simplicidad de este tipo de evaluación, las incertidumbres no son parte del módulo de vulnerabilidad. Esto significa utilizar únicamente valores promedio de estimaciones de daño (enfoque determinista para el módulo de vulnerabilidad solamente).
- Para el enfoque mixto probabilista-determinista se debe determinar si el módulo de vulnerabilidad será tratado como completamente probabilista, probabilista simplificado o determinista, y en los dos primeros casos se debe seguir lo indicado anteriormente.

4) Asegurarse de que los módulos individuales permitan interoperabilidad:

Esta actividad consiste en revisar los módulos individuales completados y asegurarse de que sean compatibles entre sí e interoperables. Las siguientes condiciones deben cumplirse:

- Para el módulo de amenazas: los resultados del modelo de amenazas que se transforman en datos de entrada para el modelo de riesgo consisten en un conjunto de escenarios de amenazas estocásticos mutuamente excluyentes y colectivamente exhaustivos (para una evaluación totalmente probabilista) o un conjunto de mapas de amenaza integrada (para una evaluación probabilista simplificada). Cada uno tiene una representación espacial (formato SIG), una representación numérica de la intensidad seleccionada y una frecuencia de ocurrencia asociada. La primera de estas características es necesaria para que los módulos de amenazas y exposición puedan comunicarse; esto significa que el SIG tendrá capas (en general en formato ráster) para cada escenario de amenazas con una correcta georreferenciación y un sistema de coordenadas compatible con el del módulo de exposición. Con respecto a la segunda característica, se debe seleccionar una medida apropiada de la intensidad que mejor se correlacione con los daños físicos para que los módulos de amenazas y vulnerabilidad se comuniquen; esto significa expresar la amenaza en términos de una medida de intensidad que se corresponda con la misma medida de intensidad utilizada por el módulo de vulnerabilidad para determinar el daño. Por último, la tercera característica es necesaria para que el módulo de riesgo calcule el riesgo utilizando la teoría probabilista.
- Para el módulo de exposición: el resultado del módulo de exposición que se transforma en un dato de entrada del módulo de riesgo consiste en una base de datos de la población y todos los activos expuestos con representación espacial (georreferenciada, también denominada base de datos geográfica) que almacena todas las características relevantes

físicas y sociales. La primera característica se refiere a la compatibilidad entre los módulos de amenaza y exposición explicada anteriormente. La segunda característica es necesaria para que los módulos de exposición y vulnerabilidad se comuniquen: se refiere a almacenar las características estructurales físicas (de la infraestructura), como tipo constructivo, sistema estructural, dimensiones generales, geometría, estado, etc., y las características sociales (de la población expuesta), que se corresponden directamente con las funciones de vulnerabilidad incluidas en el módulo de vulnerabilidad que permiten conocer los daños esperados.

- Para el módulo de vulnerabilidad: los resultados del módulo de vulnerabilidad que se transforman en datos de entrada para el módulo de riesgo consisten en una relación de vulnerabilidad que se desarrolla para características físicas específicas, que ofrece los daños estimados como una función de la medida de intensidad de una amenaza específica y que tienen una incertidumbre asociada. La primera característica se refiere a la compatibilidad entre los módulos de vulnerabilidad y exposición explicada anteriormente. La segunda característica se refiere a la compatibilidad entre los módulos de vulnerabilidad y amenazas explicada anteriormente. Por último, la tercera característica es necesaria para que el módulo de riesgo calcule el riesgo utilizando la teoría probabilista.

5) Aplicación del modelo matemático probabilista adecuado para integrar todos los módulos y calcular pérdidas directas, indirectas y totales:

Esta actividad supone integrar matemáticamente los tres módulos ya descritos. A continuación se detallan los procedimientos para calcular el riesgo en los tres tipos de evaluaciones de riesgo probabilistas que constan en la Tabla 6.2 (totalmente probabilista, probabilista simplificado y determinista). Las incertidumbres asociadas con el modelo en sí deben incorporarse usando otros métodos (a través del análisis cualitativo, por ejemplo, para identi-

ficar los diferentes escenarios que deben considerarse en este modelo cuantitativo).

Evaluación de riesgo totalmente probabilista:

Este marco es el utilizado por la plataforma CAPRA. Véase ERN-AL (s.f. a, s.f. f), Cardona y otros. (2015), Ordaz (2000) y Probabilistic Evaluation of Natural Hazards de CAPRA en <https://ecapra.org/node/172> para acceder a una descripción e información completa. A continuación presentamos un resumen al respecto. La premisa básica de un cálculo de riesgo probabilista es que la **pérdida** (\mathcal{L} o ℓ) es una cantidad incierta y, como tal, se la debe tratar como una variable aleatoria a la que se aplica la teoría de probabilidad. Se suele asumir que la **pérdida**, \mathcal{L} , sigue una distribución Beta.

La variable aleatoria **pérdida**, \mathcal{L} , puede expresarse mediante diferentes eventos (eventos en el contexto de la teoría probabilista), que son ocurrencias específicas de la **pérdida**, \mathcal{L} , por ejemplo: $\ell = \$2,000$ o $\$500 < \ell < \$7,500$, etc. Idealmente, el objetivo de una evaluación de riesgo probabilista sería hallar la probabilidad de que ocurra cierta pérdida, o $P(\mathcal{L})$. No obstante, debido a que estos eventos de pérdida pueden ser completamente arbitrarios, el proceso para hallar $P(\mathcal{L}=\ell)$ no es directo. Por lo tanto, corresponde definir la variable aleatoria **pérdida**, ℓ , en términos de un conjunto de **eventos base** que sí son conocidos y aplicar el Teorema de la Probabilidad Total para hallar $P(\mathcal{L})$ definida a través de probabilidades de excedencia en lugar de probabilidades puntuales.

Los **eventos base** corresponden a los eventos de amenazas naturales, para los cuales pueden hallarse las probabilidades de ℓ (para amenazas hidrometeorológicas estos sucesos deben incorporar los efectos del cambio climático y su incertidumbre). Por lo tanto, si la totalidad del espacio muestral de la prueba aleatoria de **pérdida**, \mathcal{L} , se subdivide en los eventos base, es más fácil hallar la probabilidad de ℓ ya que consiste en sumar todas las intersecciones de los eventos base conocidos y el evento de pérdida. Estas intersecciones, en términos probabilistas, pueden calcularse como probabilidades condicionales, es decir, multiplicando la probabili-

dad de tener ℓ dado que ocurrió el evento base e multiplicado por la probabilidad de ocurrencia del evento e . Por último, para hallar la probabilidad de ℓ se suman todas las probabilidades condicionales. Este es el Teorema de la Probabilidad Total. Para poder aplicarlo, es necesario que todos los eventos base sean colectivamente exhaustivos (deben cubrir todo el espacio muestral, es decir, todo el universo de posibilidades de eventos base) y mutuamente excluyentes (no hay intersecciones entre los eventos base, es decir, que los diferentes eventos base no pueden ocurrir en forma simultánea). La Ecuación 6-1 muestra la ecuación general del Teorema de la Probabilidad Total aplicado al cálculo de la probabilidad de un evento de pérdida ℓ .

Ecuación 6-1 $P(\ell) = \sum_{i=1}^n P(\ell|e_i) \cdot P(e_i)$

Donde ℓ es un evento de pérdida, $P(\ell|e_i)$ es la probabilidad de tener dicha pérdida dado que el $i^{\text{ésimo}}$ evento, e_i ocurre, $P(e_i)$ es la probabilidad de tener el evento e_i y n es el número total de eventos base debidos a amenazas naturales (o escenarios).

En el contexto del riesgo de desastres debidos a amenazas naturales el riesgo se expresa como la **excedencia** de pérdidas (no la ocurrencia). Por lo tanto la Ecuación 6-1 se modifica para obtener las tasas de excedencia de pérdidas, tomando la forma de la Ecuación 6-2 que pasa a ser la ecuación de riesgo básica.

Ecuación 6-2 $v(\ell) = \sum_{i=1}^n P(\mathcal{L} \geq \ell|e_i) \cdot F_{e_i}$

Donde $v(\ell)$ es la tasa de excedencia de la pérdida ℓ , $P(\mathcal{L} \geq \ell|e_i)$ es la probabilidad de exceder la **pérdida** ℓ dado que ocurrió el $i^{\text{ésimo}}$ evento debido a una amenaza natural, F_{e_i} es la frecuencia anual de ocurrencia del $i^{\text{ésimo}}$ evento debido a una amenaza natural, e_i , y n es el número total de eventos de amenazas naturales (o escenarios). La **tasa** de excedencia de pérdidas es una función de la pérdida y, como tal, tiene una representación gráfica denominada curva de excedencia de pérdidas o curva de pérdidas. La curva de pérdidas tiene toda la información necesaria para describir en términos de probabilidad el proceso de ocurrencia de eventos que produzcan pérdidas. Nótese que la inversa de

la tasa de excedencia, $v(\ell)$, es el periodo de retorno, RP , de pérdida. Además, nótese que la variable aleatoria es la **pérdida**, \mathcal{L} , y no la tasa de excedencia anual de la pérdida, $v(\ell)$, que está dada por la CEP.

Ahora bien, para calcular la probabilidad de tener una pérdida dado un evento de amenaza natural ($P(\ell|e_i)$ en la Ecuación 6-1 o $P(\mathcal{L} \geq \ell|e_i)$ en la Ecuación 6-2), se utiliza la distribución de probabilidades de **pérdida**, \mathcal{L} , para cada escenario de amenaza, que es una distribución de probabilidades conjuntas de la distribución de probabilidades de la intensidad de la amenaza y la distribución de probabilidades de la tasa de daño (vulnerabilidad). Por lo tanto, esta distribución de probabilidades conjunta se calcula mediante la siguiente ecuación que revela la composición del riesgo entre amenaza y vulnerabilidad:

Ecuación 6-3 $f(\ell|e_i) = \int_0^\infty \underbrace{f(\ell|s)}_{\text{Vulnerabilidad}} \cdot \underbrace{f(s|e_i)}_{\text{Amenaza}} ds$

Donde $f(\ell|e_i)$ es la función de distribución de probabilidades de la pérdida ℓ dado el $i^{\text{ésimo}}$ evento, e_i . El componente de vulnerabilidad, $f(\ell|s)$, es la función de distribución de probabilidades de la pérdida, ℓ , dada una intensidad de amenaza, s ; es por esto que el módulo de vulnerabilidad necesita tener un tratamiento probabilista que incorpore la incertidumbre. El componente de amenaza, $f(s|e_i)$ es la función de distribución de probabilidades de la intensidad de la amenaza, s , dado un evento de amenaza natural, e_i ; es por esto que el módulo de amenaza necesita tener un tratamiento probabilista que incorpore la incertidumbre. Utilizando la Ecuación 6-3 y asumiendo una distribución Beta para la pérdida, es posible determinar la distribución de probabilidad para la pérdida para un elemento expuesto.

Si se debe calcular el riesgo para múltiples elementos expuestos (por ej., en el caso de una ciudad, donde se evalúa la exposición de toda la ciudad, o un proyecto de infraestructura que incluye numerosos elementos de infraestructura), se aplica la Ecuación 6-3 individualmente a cada elementos expuesto y la pérdida total para el $i^{\text{ésimo}}$ evento ocurrido se obtiene sumando las pérdidas individuales en los elementos expuestos. No obstante, debido a que

estas pérdidas individuales son variables aleatorias, la suma debe realizarse utilizando una aritmética adecuada para variables aleatorias, donde la suma se realiza sobre los momentos estadísticos:

$$\text{Ecuación 6-4 } E(\ell|e_i) = \sum_{j=1}^m E(\ell_j)$$

Ecuación 6-5

$$\sigma^2(\ell|e_i) = \sum_{j=1}^m \sigma^2(\ell_j) + 2 \sum_{k=1}^{m-1} \sum_{j=2}^m \text{COV}(\ell_k, \ell_j)$$

Donde $E(\ell|e_i)$ y $\sigma^2(\ell|e_i)$ son el valor esperado y la varianza, respectivamente, de la pérdida ℓ para el i ésimo evento ocurrido debido a una amenaza natural, e_i . El término m es el número total de activos expuestos en el portafolio evaluado. $\text{COV}(\ell_k, \ell_j)$ es la covarianza entre los elementos expuestos k y j ; este término da cuenta de la correlación de pérdidas entre los elementos expuestos, un componente crítico de una evaluación totalmente probabilista. No obstante, puede ser difícil determinar esta covarianza, por lo que puede asumirse y utilizarse un coeficiente de correlación ρ_{kj} ; el término de la covarianza luego se transforma en $\text{COV}(\ell_k, \ell_j) = \rho_{kj}\sigma(\ell_k)\sigma(\ell_j)$. Con esto, se determina por completo la distribución de probabilidades de pérdidas para cada escenario.

En resumen, la secuencia de cálculos, siguiendo las Ecuaciones 6-1 a 6-5 es la siguiente:

- i. Se toma un evento (con una probabilidad de ocurrencia asociada) del módulo de amenaza: éste será el evento de amenaza $i=1$. Se superpone la base de datos georreferenciada de exposición con este evento debido a una amenaza natural, se determina el valor estimado de la intensidad de la amenaza percibida en el lugar donde se sitúa un elemento expuesto (este será el elemento expuesto $j=1$) y determina el nivel de daño estimado (índice de daño medio) para este elemento expuesto (para el valor de intensidad de amenaza dado) a partir de su correspondiente relación de vulnerabilidad. En este punto, tanto las pérdidas directas como las indirectas (las últimas incluyen pérdida debido a pérdida de funcionalidad que llevan a la interrupción del negocio) deben incluirse en el módulo de vulnerabilidad. Se calcula la distribución de probabilidades de la pérdida para el elemento j bajo el

evento i utilizando la Ecuación 6-3 y asumiendo una distribución Beta para la pérdida.

- ii. Si hay más de un elemento expuesto, se repite (i) individualmente para todos los j ésimos elementos expuestos restantes (hasta llegar a m) y se utiliza la Ecuación 6-4 y la Ecuación 6-5 para sumar los valores esperados y varianzas de la pérdida para todos los elementos expuestos para el evento $i=1$ y se determina la distribución de probabilidad de la suma de las pérdidas.
- iii. Se repite los pasos (i) y (ii) para los i ésimos eventos en el módulo de amenaza hasta llegar a n . Se utiliza la Ecuación 6-2 para integrar probabilísticamente las pérdidas calculadas para eventos individuales utilizando la frecuencia de ocurrencia de los eventos como factor de ponderación. Se obtiene la curva de excedencia de pérdidas.

Además de calcular las pérdidas en términos absolutos, es útil normalizarlas para obtener una mejor representación del riesgo. Para esto se utiliza la pérdida relativa, la cual toma la pérdida total y la divide por la suma de los valores de reposición de la estructura y de contenidos del activo. De esta manera el riesgo es expresado como un porcentaje del valor de reposición del activo o portafolio.

Evaluación de riesgo probabilista simplificada:

Este enfoque es el utilizado por otras plataformas y marcos como Hazus de FEMA; consulta FEMA (s.f. a; s.f. b; s.f. c.) para acceder a la descripción y detalles completos. A diferencia del cálculo totalmente probabilista, donde eventos estocásticos de amenaza constituyen la base del Teorema de la probabilidad total utilizado para caracterizar por completo la distribución de probabilidades de pérdidas, en un cálculo de riesgo probabilista simplificado, las pérdidas se computan de forma discreta para valores de intensidad de amenaza específicos y discretos (no eventos) con un periodo de retorno asociado. Estas pérdidas discretas luego se reportan individualmente y a partir de éstas se puede determinar la pérdida anual esperada directamente (véase actividad 6). Es posible obtener una estimación o *proxy* de la CEP aplicando una extrapolación de los resul-

tados puntuales. Esta es una diferencia importante entre un cálculo de riesgo totalmente probabilista y probabilista simplificado, ya que el primero puede ofrecer una distribución probabilista de pérdidas detallada y completa (a partir de la cual puede computarse un amplio rango de medidas de riesgo) mientras que el último solo puede ofrecer estimaciones de pérdidas discretas para determinados valores de intensidad de la amenaza con un periodo de retorno y un proxy de la distribución de pérdidas (a partir de las cuales puede calcularse la PAE directamente mientras que las CEP y PMP pueden ser estimadas por extrapolación y asumiendo que el periodo de retorno del evento de amenaza es equivalente al periodo de retorno de la pérdida).

Nótese que el término cálculo de riesgo probabilista simplificado se refiere a la forma en que los módulos de amenaza, exposición y vulnerabilidad se integran matemáticamente y, en última instancia, a cómo se calculan las pérdidas. Por lo tanto, si bien el módulo de amenaza incluye la probabilidad de forma indirecta mediante el uso de periodos de retorno, su posterior integración con los módulos de exposición y vulnerabilidad y el cálculo de pérdidas no ofrecen la distribución probabilista completa de pérdidas. Dicho esto, si bien la incorporación de la incertidumbre y la probabilidad en el módulo de vulnerabilidad debe ser parte de toda evaluación de riesgo probabilista (totalmente o simplificada), en general las evaluaciones probabilistas simplificadas no lo aplican y utilizan estimaciones de daño medio.

En resumen, la secuencia de cálculos, siguiendo la misma lógica que para el cálculo totalmente probabilista, es la siguiente:

- i. Se toma el valor de la intensidad de la amenaza (con una tasa de excedencia o periodo de retorno asociado) del módulo de amenaza: este será el periodo de retorno $i=1$. Se superpone la base de datos georreferenciada de exposición con la distribución espacial de la amenaza, se determina el valor estimado de la intensidad de la amenaza percibida en el lugar donde se sitúa un elemento expuesto (éste será el elemento expuesto $j=1$) y determina el nivel de daño estimado (índice de daño medio) para este elemento

expuesto (para el valor de intensidad de amenaza dado) a partir de su relación de vulnerabilidad correspondiente. En este punto, tanto las pérdidas directas como las indirectas (las últimas incluyen pérdidas por pérdida de funcionalidad que llevan a la interrupción del negocio) deben incluirse en el módulo de vulnerabilidad.

- ii. Si hay más de un elemento expuesto, se repite (i) individualmente para todos los $j^{\text{ésimos}}$ elementos expuestos restantes y se suma los valores esperados de la pérdida para todos los elementos expuestos para el periodo de retorno $i=1$.
- iii. Se repite los pasos (i) y (ii) para los $i^{\text{ésimos}}$ periodos de retorno en el módulo de amenaza integrado hasta llegar a m .

Evaluación de riesgo mixta probabilista-determinista:

Este enfoque es comúnmente utilizado para aquellas amenazas que son más complejas para caracterizar de manera probabilista, y por lo tanto una combinación con el enfoque determinista es necesario (este enfoque es común para evaluar el riesgo por deslizamientos, por ejemplo). Primero, se debe determinar cómo se va a construir el modelo de riesgo, estableciendo cuáles componentes serán tratados de manera probabilista (y dentro de esto, si serán totalmente probabilistas o simplificados) y cuáles de manera determinista. Dos casos pueden ocurrir: (i) la amenaza es tratada de manera probabilista y la vulnerabilidad determinista, o (ii) la amenaza es tratada determinista y la vulnerabilidad probabilista.

Para el primer caso donde la amenaza es probabilista y la vulnerabilidad determinista, el cálculo de riesgo permite obtener la CEP, ya sea de forma directa (si es totalmente probabilista) o indirecta vía *proxy* (si es probabilista simplificado). Dependiendo del tratamiento probabilista de la amenaza (totalmente o simplificado), se deberá seguir el método de cálculo correspondiente descrito anteriormente. El único cambio sobre estos sería el considerar el componente de vulnerabilidad como determinista, sin tener en cuenta incertidumbres ni variabilidad.

Para el segundo caso donde la vulnerabilidad es determinista y la amenaza determinista, el cálculo de riesgo no permite obtener la CEP, si no únicamente resultados puntuales de riesgo. Las pérdidas serán obtenidas para las diferentes respuestas de la(s) estructura(s) (vulnerabilidad) para una condición de amenaza predefinida. Para el componente de vulnerabilidad, métodos específicos para la amenaza y el sector determinan el procedimiento de cálculo de riesgo, pero eso usualmente incluye modelaciones estructurales detalladas, la aplicación de la teoría de confiabilidad estructural (Johansson et al., 2013), modelos de elementos finitos y simulaciones de monte Carlo, entre otros.

6) Calcular las medidas de riesgo:

En esta actividad, los resultados de los cálculos de riesgo de la actividad anterior se utilizan para obtener métricas de riesgo específicas. A continuación se presenta el cálculo de las principales métricas de riesgo de los dos tipos de evaluaciones de riesgo probabilistas presentados en la Tabla 6.2 (totalmente y simplificada).

Evaluación de riesgo totalmente probabilista:

La distribución de probabilidad de pérdidas y la curva de excedencia de pérdidas obtenidas como resultado de la actividad anterior se utilizan para obtener métricas de riesgo específicas según la definición de ERN-AL (s.f. a, s.f. f), Cardona y otros (2015) y Ordaz (2000).

- Pérdida anual esperada o PAE: corresponde al valor esperado de la pérdida anual y, como tal, se calcula integrando la curva de excedencia de pérdidas (área bajo la curva, Ecuación 6-6) o directamente calculando el valor esperado del conjunto de eventos de pérdida (Ecuación 6-7). Por lo tanto, es la anualización de las pérdidas que se espera que ocurran en el futuro (hasta la eternidad y si el proceso de la amenaza continúa estacionario) considerando todos los eventos posibles. Se la considera una métrica muy útil por su capacidad de sintetizar todo el proceso de generación de pérdidas en un único número. Los esquemas de seguros

utilizan la PAE y la denominan “prima pura” (Informa UK, 2008), a la cual le suman otros factores para determinar la prima del seguro.

Ecuación 6-6 $PAE = \int_0^{\infty} v(\ell) d\ell$

Ecuación 6-7 $PAE = \sum_{i=1}^n E[\ell|e_i] \cdot F_{e_i}$

Donde $v(\ell)$ es la tasa de excedencia de la pérdida ℓ (Ecuación 6-2), $E[\ell|e_i]$ es el valor esperado de la pérdida p para el evento $i^{\text{ésimo}}$, e_i (Ecuación 6-4), y F_{e_i} es la frecuencia anual de ocurrencia del evento $i^{\text{ésimo}}$, e_i .

Pérdida máxima probable o PMP: esta métrica toma su nombre de la industria de los seguros y se refiere a las pérdidas muy inusuales, es decir, las pérdidas muy poco frecuentes o que tienen periodos de retorno muy extensos. La PMP en ese contexto es un valor de pérdida específico asociado a un periodo de retorno extenso (usualmente la PMP se designa como el valor para un periodo de retorno entre 200 y 1.500 años, pero no existe una norma universal que la defina). El periodo de retorno es el inverso de la probabilidad de excedencia (Grossi, 2005).

Probabilidad de excedencia de pérdidas en un periodo de tiempo determinado: debido a que se asume que el proceso de ocurrencia de amenazas con el transcurso del tiempo sigue un Proceso de Poisson, entonces la probabilidad de exceder un valor de pérdida dentro de T años puede calcularse a partir de la curva de excedencia de pérdidas utilizando la Ecuación 6-8. Esto permite contestar la pregunta: ¿cuál es la probabilidad de que cierto valor de pérdida se exceda dentro de, por ejemplo, 50 años? Esto es útil para calcular las probabilidades con respecto a diferentes periodos de tiempo de “exposición” que pueden relacionarse, por ejemplo, con la vida útil prevista de una infraestructura.

Ecuación 6-8 $PE(\ell, T) = 1 - e^{-v(\ell) \cdot T}$

Es posible calcular otras métricas de riesgo, en términos de diferentes probabilidades que pueden computarse, gracias al marco totalmente probabilista utilizado. Consulta Cardona y otros (2015) y

Bernal (2014) para conocer más detalles al respecto (por ej., probabilidad de tener N eventos que excedan la pérdida l dentro de un periodo de tiempo T , probabilidad de exceder una pérdida luego de ocurrido un evento).

Evaluación de riesgo probabilista simplificada:

Debido al limitado tratamiento y cálculo probabilista de riesgo dentro de este tipo de evaluación, no es posible obtener la curva de excedencia de pérdidas completa de manera analítica y sólo puede calcularse la PAE directamente debido a que es un Valor Esperado. Para calcular la PAE, se utiliza la curva de amenaza que contiene las tasas de excedencia, el inverso del periodo de retorno, para diferentes valores de intensidad de la amenaza (en lugar de utilizar eventos estocásticos de amenaza de una evaluación totalmente probabilista), junto con las pérdidas esperadas para esos valores de intensidad (del módulo de vulnerabilidad) (CIMNE y otros, 2013b). La Ecuación 6-9 sirve para calcular la PAE a partir de la curva de amenaza (CIMNE et al., 2013b).

Ecuación 6-9

$$PAE = \sum_{j=1}^N \int_0^{\infty} -\frac{1}{v_j(s)} \cdot \frac{dv_j(s)}{ds} \cdot E_j[l|s] ds$$

Donde $v_j(s)$ es la curva de amenaza (tasas de excedencia de la intensidad de la amenaza) para el elemento expuesto j , y $E_j[l|s]$ es el valor esperado de la pérdida para una intensidad de amenaza dada s .

En general, la Ecuación 6-9 es discretizada, y las probabilidades de excedencia se convierten a probabilidades de ocurrencia y las pérdidas promedio se calculan entre periodos de retorno consecutivos, y luego se las multiplica para obtener la pérdida anual esperada (FEMA, s.f. a). La Ecuación 6-10 muestra cómo calcular la PAE mediante este procedimiento (FEMA, s.f. a).

Ecuación 6-10

$$PAE = v_{TR_m} \cdot L_{TR_m} + \sum_{i=0}^{m-1} (v_{TR_{m-i-1}} - v_{TR_{m-i}}) \cdot \frac{(L_{TR_{m-i-1}} + L_{TR_{m-i}})}{2}$$

Donde v_{TR} es la tasa de excedencia de la amenaza de un periodo de retorno determinado, L_{TR} es la pérdida asociada de un periodo de retorno determinado,

i es un índice que pasa por todos los periodos de retorno a utilizar y m es el mayor periodo de retorno utilizado. Este cálculo se muestra a continuación para los siguientes periodos de retorno 5: 25, 100, 500, 1000, 2000.

$$PAE = v_{2000} \cdot L_{2000} + \left((v_{1000} - v_{2000}) \cdot \frac{L_{1000} + L_{2000}}{2} \right) + \left((v_{500} - v_{1000}) \cdot \frac{L_{500} + L_{1000}}{2} \right) + \left((v_{100} - v_{500}) \cdot \frac{L_{100} + L_{500}}{2} \right) + \left((v_{25} - v_{100}) \cdot \frac{L_{25} + L_{100}}{2} \right)$$

Evaluación de riesgo mixta probabilista-determinista:

Dependiendo de cómo se haya construido el modelo de riesgo, algunos componentes han sido tratados de manera probabilista (y dentro de estos, totalmente o simplificado) y otros de manera determinista. Siguiendo los dos casos descritos anteriormente (amenaza probabilista y vulnerabilidad determinista, o amenaza determinista y vulnerabilidad probabilista), las métricas de riesgo varían para cada caso.

Para el primer caso donde se puede obtener la CEP, sea de manera directa (totalmente probabilista) o vía proxy (probabilista simplificado), aplican las mismas métricas descritas para cada uno de estos enfoques. Para el segundo caso donde no es posible obtener la CEP, las métricas de riesgo dependerán de resultados puntuales y de los métodos específicos usados para la amenaza y el sector. Algunos de los métodos como la modelación estructural detallada y la aplicación de la teoría de confiabilidad estructural (Johansson et al., 2013), elementos finitos y simulaciones de Monte Carlo, entre otros, permiten obtener métricas como la probabilidad de tener ciertos estados de daño, la probabilidad de falla, y probabilidades de daños para diferentes niveles de confiabilidad, por ejemplo.

Evaluación de riesgo determinista

Este enfoque requiere de menos esfuerzos y recursos de tiempo y de modelación que el enfoque probabilista. Es sumamente útil al aplicarlo por sí solo para evaluar estructuras extremadamente complejas que requieren niveles de detalle mayores y donde un enfoque probabilista puede resultar impráctico. También puede utilizarse para ayudar al público

a entender mejor el riesgo si, por ejemplo, se recrea un evento que ocurrió en el pasado ya que éste puede ser recordado y la gente puede familiarizarse con él. De forma similar al caso de evaluación probabilista, se puede identificar dos grandes grupos de actividades: el primero incluye crear los tres módulos individuales de amenaza, exposición y vulnerabilidad, y el segundo se centra en realizar cálculos de riesgo. El primer grupo incluye tres actividades: (1) modelar el evento de amenaza, (2) construir una base de datos georreferenciados con todos los atributos relevantes de exposición, y (3) modelar la vulnerabilidad estructural y social. Dentro del segundo grupo, las tres actividades restantes son: (4) asegurarse de que los módulos de amenaza, exposición y vulnerabilidad sean apropiados e interoperables entre sí, y (5) calcular matemáticamente las pérdidas directas e indirectas.

1) Modelación del evento de amenaza:

Esta actividad consiste en construir un modelo determinista de todas las amenazas que pueden afectar al proyecto modelando eventos específicos de amenazas naturales. Esta actividad se explica en detalle en la sección **Cuantificación del componente de amenaza**.

2) Elaboración de una base de datos geográfica sobre exposición:

Esta actividad consiste en elaborar una base de datos georreferenciada de los activos expuestos (incluidas edificaciones e infraestructura, como así también la población) que recoja todas las características relevantes para evaluar la vulnerabilidad a las amenazas naturales. Esta actividad se explica en detalle en la sección **Cuantificación del componente de exposición**.

3) Modelación de la vulnerabilidad estructural y social:

Esta actividad consiste en desarrollar un modelo de la vulnerabilidad para todos los activos físicos que son parte de la exposición, como así también de la población expuesta. Esta actividad se explica en detalle en la sección **Cuantificación del componente de vulnerabilidad**.

4) Asegurarse de que los módulos individuales permitan interoperabilidad:

Esta actividad consiste en revisar los módulos individuales completados y asegurarse de que sean compatibles entre sí e interoperables. Las siguientes condiciones deben cumplirse:

- Para el módulo de amenaza: los resultados del modelo de amenaza que pasan a ser datos de entrada en el modelo de riesgo consisten en un evento de amenaza que representa espacialmente (formato de SIG) la medida de intensidad seleccionada. Requiere de una representación espacial para que los módulos de amenaza y exposición puedan comunicarse; esto significa que el SIG tendrá capas (en general en formato ráster) para el evento con una correcta georreferenciación y un sistema coordinado compatible con el del módulo de exposición. Con respecto a la segunda característica, se debe seleccionar una medida apropiada de la intensidad que mejor se correlacione con los daños físicos para que los módulos de amenaza y vulnerabilidad se comuniquen; esto significa expresar la amenaza en términos de una medida de intensidad que se corresponda con la misma medida de intensidad utilizada por el módulo de vulnerabilidad para determinar el daño.
- Para el módulo de exposición: el resultado del módulo de exposición que se transforma en un dato de entrada del módulo de riesgo consiste en una base de datos de la población y todos los activos expuestos con representación espacial (georreferenciada, también denominada base de datos geográfica) que almacena todas las características relevantes físicas y sociales. La primera característica se refiere a la compatibilidad entre los módulos de amenaza y exposición explicada anteriormente. La segunda característica es necesaria para que los módulos de exposición y vulnerabilidad se comuniquen: se refiere a almacenar las características estructurales físicas (de la infraestructura), como tipo constructivo, sistema estructural, dimensiones generales,

geometría, estado, etc., y las características sociales (de la población expuesta), que se corresponden directamente con las relaciones de vulnerabilidad incluidas en el módulo de vulnerabilidad que permiten conocer los daños esperados.

- Para el módulo de vulnerabilidad: los resultados del módulo de vulnerabilidad que se transforman en datos de entrada para el módulo de riesgo consisten en una relación de vulnerabilidad que se desarrolla para características físicas específicas, que indica los daños estimados como una función de la medida de intensidad de una amenaza específica. La primera característica se refiere a la compatibilidad entre los módulos de vulnerabilidad y exposición explicada anteriormente. La segunda característica se refiere a la compatibilidad entre los módulos de vulnerabilidad y amenazas explicada anteriormente.

5) Calcular pérdidas directas, indirectas y totales:

Esta actividad supone combinar los tres módulos ya descritos para determinar daños y pérdidas. A continuación presentamos el procedimiento de cálculo de riesgo para ambos tipos de evaluación determinista del riesgo presentados en la Tabla 6.2 (evento histórico pasado o caso pesimista).

Debido a que el enfoque determinista por definición no considera la incertidumbre, todas las propiedades del modelo y acciones en el modelo son únicas y dadas (Ditlevsen y Madsen, 2005). Por lo tanto, como lo enunció la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción de Riesgo de Desastres (UNDRR, 2015), “contrariamente [a un modelo probabilista], el modelo determinista trata la probabilidad de un evento como finita [...] el enfoque determinista en general modela escenarios, donde los valores de entrada son conocidos y el resultado es observado”.

Esto hace que el cálculo de riesgo sea directo y siga la secuencia explicada a continuación:

- i. Se superpone la exposición al evento de ame-

naza modelado o mapeado y se determina la intensidad de amenaza resultante experimentada en la ubicación geográfica de la exposición.

- ii. Se toma este valor de intensidad para ingresar al módulo de vulnerabilidad (puede ser en términos de curvas de daño o modelos estructurales específicos) y se determina el correspondiente nivel de daño.
- iii. Se relaciona este valor del daño (que puede ser en términos de un porcentaje de daño o una condición de daño discreta) con una correspondiente pérdida económica o pérdida de vidas utilizando relaciones generales de daño-pérdida disponibles en la literatura o realizando una evaluación económica detallada del daño.

Toma de decisiones robustas (RDM, por sus siglas en inglés)

Debido a que RDM es principalmente un proceso integrado de evaluación de propuestas y toma de decisiones, este enfoque se discute en profundidad en la sección ***Evaluación de Medidas de Reducción de riesgo: Plan de Gestión de Riesgo de Desastres y Cambio Climático (PGRD)*** más adelante en este capítulo. No obstante, se debe tener en cuenta que dado que se trata de un marco de toma de decisiones en condiciones de incertidumbre profunda, es flexible en términos de los modelos que puede utilizar para realizar las evaluaciones de riesgo en sí. Por lo tanto, estos modelos (que se utilizan para evaluar múltiples posibilidades) pueden adoptar la forma de modelos de simulación en Python, R o Excel, por ejemplo, o utilizar plataformas de modelado de sectores específicos. Aquí es donde las plataformas de modelación específicas para riesgo de desastres y cambio climático ya descritas y utilizadas en toda la Metodología, como CAPRA y Hazus, pueden utilizarse como motor de cálculo dentro del marco de RDM. Todo lo que se requiere para complementar estos modelos de simulación es un “wrapper” para procesar un gran número de casos; algunos ejemplos son la biblioteca Python de código abierto Rhodium (véase <https://github.com/Project-Platypus/Rhodium>) y el software RAP™ (Robust Adaptive Planning) o CARs™ (Compu-

ter Assisted Reasoning) de Evolving Logic (véase https://www.evolvinglogic.com/el_news.html).

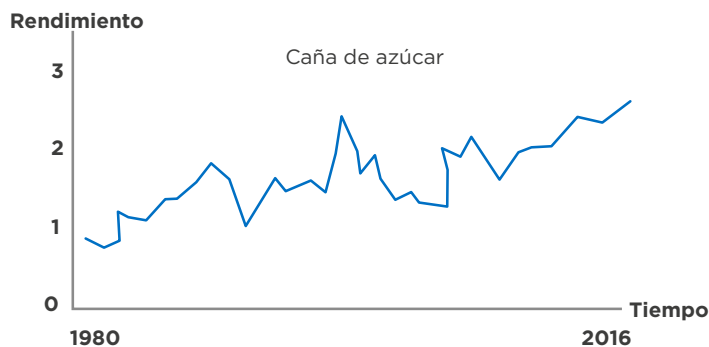
Análisis histórico de línea de tiempo

Este tipo de análisis es un método de evaluación de riesgo simplificado utilizado específicamente para el sector agrícola. Este método es tratado como un caso especial en la Metodología debido a que los modelos de riesgo de desastres más detallados para el sector agrícola aún son muy nuevos y están en desarrollo; por lo tanto, los otros enfoques más estandarizados detallados en esta Metodología para evaluaciones de riesgo no necesariamente sirven para este sector.

Este método fue desarrollado por el Banco Mundial (2016) en su documento titulado *Agricultural Sector Risk Assessment: Methodological Guidance for Practitioners*. Su objetivo no es desarrollar en profundidad modelos de amenazas, vulnerabilidad y riesgo, sino calcular las pérdidas en la producción agrícola debidas a amenazas naturales utilizando datos históricos sobre pérdidas. Se elabora una serie cronológica de eventos de amenazas naturales (en general amenazas hidrometeorológicas únicamente) con base en registros históricos y al mismo tiempo también se elabora una segunda serie cronológica de producción agrícola (por ej., rendimiento) para el mismo periodo de tiempo. Estas dos series cronológicas luego se analizan juntas para determinar una posible correlación y relación de causalidad entre la ocurrencia de un evento de amenaza y una disminución de la productividad. Este método consta de los siguientes pasos, que deben seguirse para cada cultivo analizado:

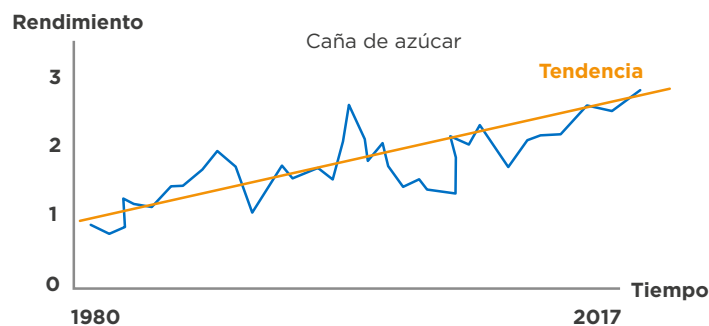
Paso 1: obtención datos para la serie cronológica de rendimiento

Para cada cultivo estudiado, construye una línea de tiempo con datos de rendimiento abarcando la mayor cantidad posible de años, utilizando datos del país o locales o bien tomados de FAOSTAT.



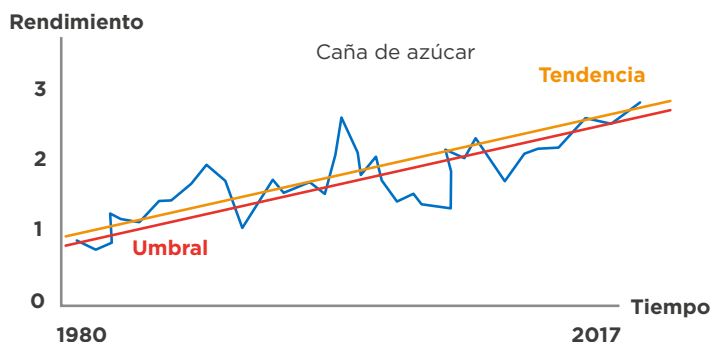
Paso 2: determinación de una tendencia lineal para la serie cronológica sobre rendimiento

Una vez elaborada la serie cronológica, realiza una regresión lineal utilizando mínimos cuadrados ordinarios en el conjunto de datos para obtener una tendencia lineal. Esta tendencia histórica debe extenderse para proyectar condiciones futuras, y esto debe representar un escenario sin cambio climático. Para considerar el cambio climático se debe realizar evaluaciones sobre cambio climático adecuadas para obtener un cambio estimado en la tendencia proyectada hacia el futuro.



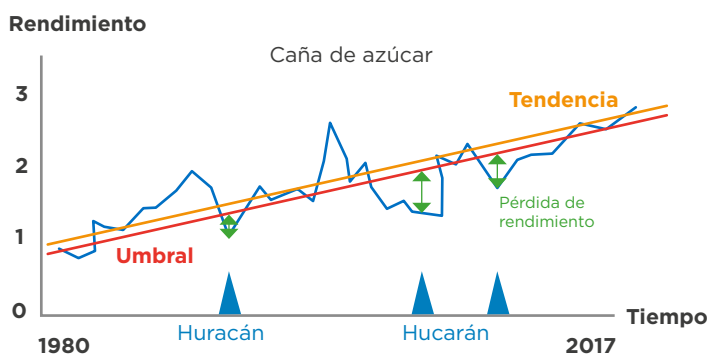
Paso 3: determinación de un umbral sobre la tendencia lineal

Utilizando los datos de la serie cronológica, se calcula la desviación estándar y se establece un valor umbral que sea un tercio de la desviación estándar. Este valor umbral debe sustraerse de la tendencia lineal y utilizarse para crear una tendencia lineal umbral que representa las desviaciones normales en el rendimiento esperado que pueden esperarse en condiciones normales. La finalidad de esto es considerar las caídas en la tendencia esperada que no son extraordinarias.



Paso 4: cálculo de la pérdida de rendimiento para cada año en que ocurrió un evento de amenaza natural

De la línea de tiempo de eventos, se selecciona las amenazas naturales que impactaron al sector agrícola en el pasado y se une cada uno con los sucesos de la serie cronológica de rendimiento elaborada en los pasos anteriores. Para cada evento que presente una caída por debajo de la tendencia umbral en el rendimiento correspondiente, se calcula la caída o la pérdida: la pérdida es la diferencia entre la tendencia lineal umbral (el rendimiento esperado) y el rendimiento real (datos históricos). Se calcula las pérdidas de rendimiento para todos los eventos que ocurren en la serie cronológica. Esto se debe realizar por separado para cada amenaza natural, de modo que al final se obtengan las pérdidas de rendimiento por separado para cada cultivo y para cada amenaza.



Paso 5: cálculo de la pérdida económica para el evento de amenaza

Para obtener las pérdidas económicas para cada evento, las pérdidas de rendimiento determinadas en el paso previo deben primero multiplicarse por

la cosecha total de cada cultivo (para obtener pérdidas de producción) y luego por su precio. Para obtener el precio de cada cultivo, se utiliza precios anuales y se convierten de valor nominal a valor constante.

Paso 6: cálculo de la pérdida anual esperada

Para cada cultivo y cada amenaza, primero se suman todas las pérdidas económicas obtenidas en el paso anterior (pérdidas individuales para cada evento), lo que da una pérdida total para el periodo de tiempo considerado, y luego se divide esta pérdida total por el periodo de tiempo para obtener la pérdida anual esperada (PAE). Por lo tanto, se obtiene una pérdida anual esperada para cada cultivo y para cada amenaza. La PAE para las diferentes amenazas puede sumarse para obtener la PAE multi amenaza para cada cultivo.

Luego de obtener la PAE para cada amenaza y cada cultivo, se debe realizar un análisis sobre los diferentes niveles de riesgo para diferentes cultivos para poder identificar cuáles son los cultivos más críticos (mayor riesgo) y cuáles los menos críticos (menor riesgo).

Evaluación de exposición

Si bien no se trata de una evaluación de riesgo, este análisis puede funcionar como una evaluación cuantitativa simplificada para aquellos casos que son menos complejos y no constituyen una preocupación importante en términos de la viabilidad del proyecto o la exacerbación del riesgo, y por lo tanto no requieren de una evaluación de riesgo, y tienen serias limitaciones de tiempo, recursos y datos. Este análisis, que carece del componente de vulnerabilidad, consiste en superponer los módulos de amenaza y exposición para analizar qué está expuesto a la/s amenaza/s en términos de cantidad y tipos de infraestructuras, valores generales sobre la exposición, distribución geográfica, entre otros aspectos. Es preciso tener en cuenta que esto no ofrece resultados en términos de riesgo, pérdidas económicas o pérdida de vidas. Este tipo de evaluación es compatible con una evaluación de susceptibilidad a amenazas (véase la sección **Cuantificación del componente de amenaza**).

Las secciones siguientes (Cuantificación del componente de amenaza, Cuantificación del componente de exposición, Cuantificación del componente de vulnerabilidad) detallan el cómo construir los componentes del modelo de riesgo (amenaza, exposición y vulnerabilidad) para cada enfoque de evaluación de riesgo descrita en esta sección.

>Cuantificación del componente de amenaza

La cuantificación de la amenaza es el primer paso del proceso de evaluación de riesgo de desastres y cambio climático y su objetivo es evaluar con más precisión dónde y cómo puede ocurrir cada amenaza natural. Esto significa, en general y para todas las amenazas, estudiar la extensión espacial, intensidad y frecuencia de la amenaza.

Debido a que las amenazas naturales son inherentemente espaciales, la extensión se refiere a la distribución geográfica de los sucesos posibles y es por ello que las amenazas suelen expresarse mediante mapas. Sin embargo, es preciso tener cuidado al interpretarlos y considerar, en primer lugar, que los mapas de amenazas muestran tan solo uno de los componentes del riesgo (en ocasiones los mapas de amenazas son erróneamente llamados mapas de riesgo) y, en segundo lugar, que los mapas muestran tan solo un panorama de las otras dos características de las amenazas, es decir, la intensidad y la frecuencia.

La intensidad se refiere a la medida de la fuerza de la amenaza. Diferentes amenazas tienen diferentes medidas de intensidad que intentan establecer un criterio común para cuantificar su “fuerza”. Por ejemplo, la intensidad de la amenaza sísmica se mide por el movimiento del suelo, usualmente la aceleración pico del suelo, y la intensidad de la amenaza por inundación se mide de acuerdo a la profundidad y velocidad del agua. Por último, la frecuencia se refiere a las tasas de recurrencia de eventos de diferente intensidad, es decir, describe con cuánta frecuencia ocurren eventos pequeños, medianos y grandes.

Consideraciones generales sobre evaluación de amenazas

Existen diversos métodos para la evaluación de amenazas a través de sus tres componentes. Esta sección ofrecerá orientación sobre cómo seleccionar el enfoque de evaluación de la amenaza e incluirá la integración del cambio climático. La Tabla 6.3 resume los tres tipos básicos de evaluación de amenazas.

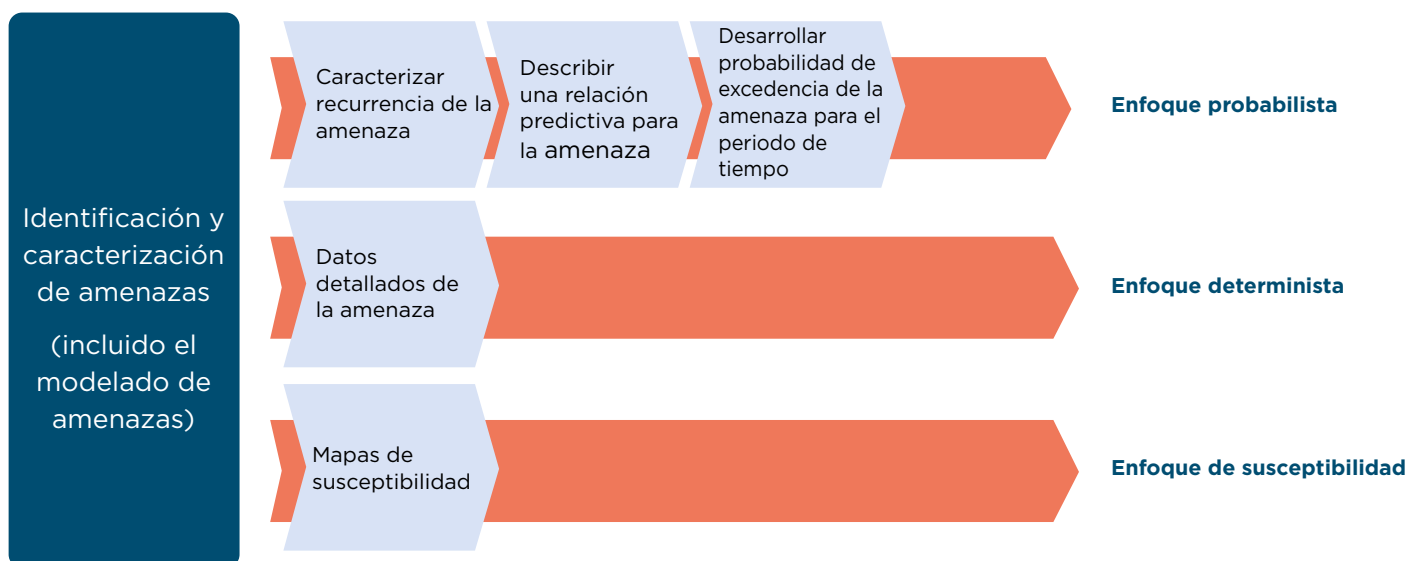
Tabla 6.3. Enfoques de evaluación de amenazas

Método	Descripción
Evaluación probabilista de la amenaza	<p>Evaluación totalmente probabilista: se utilizan modelos científicos para simular el proceso físico que genera la amenaza (por ej., fallas que generan terremotos o hidrología fluvial/hidráulica que genera inundaciones). Es necesario generar decenas, cientos o miles de eventos estocásticos individuales, cada uno de los cuales debe describir un modo único en el que la amenaza puede presentarse (en términos de ubicación geográfica, fuerza y recurrencia). Estos eventos se utilizan para calcular el riesgo (nótese que la agregación probabilista de estos resultados se integra en mapas de amenazas asociados a periodos de retorno; no obstante, a éstos sólo se los utiliza para comunicar resultados correspondientes a amenazas). Debido a que se utilizan eventos individuales, los cálculos de riesgo posteriores son totalmente probabilistas y, por lo tanto, se obtiene la curva de excedencia de pérdidas, la pérdida anual esperada y la pérdida máxima probable.</p> <p>Evaluación probabilista simplificada: este enfoque puede utilizarse cuando no sea práctico modelar estocásticamente eventos individuales (debido a limitaciones de tiempo o recursos) o ya existan mapas de amenaza integrada con diferentes periodos de retorno. En este caso, los valores de intensidad de la amenaza se toman de los mapas de amenaza integrada para recrear la curva de amenaza para la ubicación geográfica de interés. En general, se requiere de cinco o más periodos de retorno para un análisis adecuado (para considerar intensidades inusuales grandes y recurrentes pequeñas). Esto permite el cálculo directo de la pérdida anual esperada y de una estimación de la CEP a través de extrapolación en un cálculo de riesgo posterior.</p>
Evaluación determinista de la amenaza	<p>Suceso histórico pasado: es posible que existan datos sobre la amenaza correspondientes a un evento ocurrido en el pasado que puede modelarse si se conocen su extensión y sus intensidades. Este enfoque también puede utilizarse para ayudar al público a entender mejor la amenaza debido a que ya ha ocurrido y puede ser recordada. El resultado de la amenaza consiste en una extensión geográfica y una intensidad asociada a un evento específico.</p> <p>Caso pesimista: un evento que represente condiciones extremas (pesimistas) puede modelarse utilizando software apropiado para eventos que no han ocurrido. Los eventos que analizan condiciones futuras deben modelarse debido a que no ocurrieron en el pasado. El resultado de la amenaza consiste en una extensión y una intensidad asociada a un evento específico modelado.</p>
Evaluación de susceptibilidad a la amenaza	<p>Este análisis consiste en crear un mapa que muestre las áreas de mayor susceptibilidad a una amenaza específica. En algunos casos estos mapas se generan utilizando variables de base (por ej., la susceptibilidad a deslizamientos de tierra puede generarse utilizando pendiente, cobertura terrestre y suelos). Algunas amenazas son difíciles de modelar de forma probabilista o determinista y lo único que se necesita es un mapa de susceptibilidad para identificar la amenaza. Una vez creado el mapa, se lo superpone con los activos para realizar una evaluación de exposición (este enfoque no admite una evaluación de riesgo).</p>
Línea de tiempo histórica ²¹	<p>Este enfoque se aplica principalmente solo al sector agrícola para el que no son comunes los métodos de evaluación de riesgo detallados debido a que el estado del arte aún está en desarrollo. Este enfoque del riesgo genera una serie cronológica de eventos históricos (principalmente de amenazas hidrometeorológicas) y una serie cronológica paralela de producción agrícola e intenta establecer una relación causal entre las dos y estimar a partir de ello las pérdidas anuales promedio. El componente de amenaza consiste, por lo tanto, en elaborar una línea de tiempo con eventos históricos.</p>

21 Este tipo de análisis es un método de evaluación de riesgo simplificado utilizado específicamente para el sector agrícola. Este método es tratado como un caso especial en la Metodología debido a que los modelos de riesgo de desastres más detallados para el sector agrícola aún son muy nuevos y están en desarrollo; por lo tanto, los otros enfoques más estandarizados detallados en esta Metodología para los componentes de amenaza, exposición y vulnerabilidad no necesariamente sirven siempre para este sector.

El siguiente gráfico de flujo resume las actividades que conforman cada uno de los tres enfoques (probabilista, determinista y de susceptibilidad).

Figura 6.7. Resumen de actividades para desarrollar una evaluación de amenazas



Evaluación probabilista de la amenaza

Este tipo de evaluación ofrece al usuario más información sobre el área geográfica que podría verse afectada, la posible severidad de los impactos y la probabilidad de que ocurran. De los tres enfoques, éste es el más intensivo en términos de recursos. Se identificaron cuatro actividades para el enfoque de análisis probabilista: (1) identificar y recopilar datos sobre amenazas, (2) caracterizar la recurrencia de las amenazas, (3) describir una relación de intensidad predictiva sobre las amenazas y (4) desarrollar la curva de amenaza.

1) Identificar y recopilar datos sobre amenazas:

Esta actividad consiste en identificar y recopilar todos los datos que se utilizarán para evaluar las amenazas capaces de afectar al emplazamiento del proyecto. También se debe desarrollar u obtener un registro de la frecuencia de ocurrencia de los eventos. Las siguientes preguntas sirven de ayuda para determinar cuál de los enfoques mencionados anteriormente debe utilizarse dentro de la evaluación probabilista de amenazas:

- ¿Hay modelos de software y datos disponibles para generar un modelo totalmente pro-

probabilista? En caso afirmativo, se deben obtener y pasar a la Actividad 2 con un enfoque totalmente probabilista. Si no existen datos, pasa a un enfoque probabilista y avanza a la siguiente pregunta.

- ¿Existe y está disponible una evaluación probabilista expresada mediante mapas de amenaza integrada correspondientes a cinco periodos de retorno como mínimo? En caso afirmativo, recógelos en formato SIG y pasa a la Actividad 2 con un enfoque probabilista simplificado. Si no existen datos, pasa a un enfoque determinista.

2) Caracterizar la recurrencia de la amenaza:

Esta actividad consiste en caracterizar la distribución temporal de la amenaza. La relación de recurrencia específica la tasa promedio según la cual se excederá un evento de amenaza. Los siguientes puntos te servirán de guía para el proceso.

- Para el enfoque totalmente probabilista, modela la incertidumbre temporal. Esta actividad comienza asumiendo que la ocurrencia de eventos de amenaza en el tiempo sigue un proceso de Poisson (un proceso estocástico

continuo de la ocurrencia de eventos discretos donde el tiempo promedio entre eventos es conocido pero el momento exacto de ocurrencia es aleatorio, y todos los eventos son independientes, es decir, el proceso no tiene memoria). Después se desarrolla una relación de recurrencia para obtener un mecanismo estocástico para la generación de eventos. Existen métodos específicos para modelar la recurrencia de eventos para cada amenaza. Consulta la orientación específica para cada amenaza que se presenta más adelante en este capítulo y utiliza los modelos computarizados descritos en el Apéndice D para generar los datos y la incertidumbre temporal.

- Para el enfoque probabilista simplificado utiliza el periodo de retorno de los mapas de amenaza integrada como representación de la recurrencia de la amenaza. Consulta la orientación específica para cada amenaza que se presenta más adelante en este capítulo.

3) Describir una relación de intensidad predictiva para la amenaza:

Los parámetros de la intensidad de la amenaza en el lugar de emplazamiento del proyecto para eventos de diferentes tamaños deben determinarse utilizando relaciones predictivas. Los siguientes puntos te servirán de guía.

- Para el enfoque totalmente probabilista, modela la relación predictiva usando modelos específicos para la amenaza de interés. Esta actividad requiere combinar la actividad anterior de caracterizar la recurrencia de la amenaza con la utilización de una relación predictiva de la intensidad para predecir la probabilidad de obtener diversas intensidades. La medida de intensidad se modela como una variable aleatoria definida por los dos primeros momentos de probabilidad. Consulta la orientación específica para cada amenaza que presentamos más adelante en este capítulo y utiliza los modelos computarizados descritos en el Apéndice D para generar las relaciones predictivas. Si existen los conocimientos y da-

tos necesarios, genera los datos en formato electrónico.

- Para el enfoque probabilista simplificado utiliza las intensidades de los mapas de amenaza integrada. Consulta la orientación específica para cada amenaza que presentamos más adelante en este capítulo.

4) Desarrollar la probabilidad de excedencia de la amenaza correspondiente a periodos de tiempo específicos.

En esta actividad las incertidumbres asociadas a la predicción de parámetros de ubicación, magnitud y amenaza se combinan para determinar la probabilidad según la cual se excederá una intensidad de amenaza específica durante un periodo de tiempo determinado. Los siguientes puntos te servirán de guía.

- Para el enfoque totalmente probabilista, modela la excedencia de la amenaza para periodos de tiempo específicos. Esta actividad supone aplicar distribuciones de probabilidades adecuadas y desarrollar curvas de amenaza para el lugar o los lugares de emplazamiento del proyecto. Consulta la orientación específica para cada amenaza que presentamos más adelante en este capítulo y utiliza los modelos computarizados descritos en el Apéndice D para generar curvas de amenaza.
- Para el enfoque probabilista simplificado, toma de los mapas de amenaza integrada y las intensidades para distintos periodos de retorno para trazar la curva de amenaza.

Evaluación determinista de amenazas

Este enfoque puede utilizarse en conjunto con un análisis probabilista para validar y calibrar la modelación. También puede utilizarse para ayudar al público a entender mejor la amenaza debido a que ya ha ocurrido en el pasado y puede ser recordada. Para realizar un análisis determinista, se identificaron dos actividades: (1) identificar y caracterizar amenazas y (2) desarrollar datos detallados de las amenazas.

1) Identificar y recopilar datos sobre amenazas:

Esta actividad consiste en identificar y recopilar datos sobre el evento específico a ser modelado. Las siguientes preguntas sirven de ayuda para determinar cuál de los enfoques mencionados anteriormente debe utilizarse dentro de la evaluación determinista de la amenaza:

- ¿Existen datos disponibles para modelar un evento ocurrido en el pasado o un evento que constituya un caso pesimista? En caso afirmativo, recógelos y avanza a la Actividad 2. Si no existen datos sobre el suceso, pasa a un mapeo más simple del evento ocurrido en el pasado y avanza a la siguiente pregunta.
- ¿Existen datos anecdóticos disponibles sobre el evento ocurrido en el pasado? En caso afirmativo, recógelos y genera mapas de amenaza en formato SIG y avanza a la Actividad 2. Si no existen datos, pasa a un enfoque de susceptibilidad.

2) Modelación del evento de amenaza:

Esta actividad consiste en utilizar el procedimiento identificado en la actividad anterior para modelar y mapear la amenaza a evaluar. Los parámetros de intensidad de amenaza producidos en el lugar de emplazamiento del proyecto para el evento ocurrido en el pasado o correspondiente al caso pesimista seleccionado deben determinarse utilizando relaciones predictivas. Los siguientes puntos te servirán de guía para el proceso.

- Para el enfoque de modelado, modela la relación predictiva. Esta actividad consiste en utilizar datos detallados y modelos con fundamento físico y matemático para recrear el evento. Consulta la orientación específica para cada amenaza que presentamos más adelante en este capítulo y utiliza los modelos computarizados descritos en el Apéndice D para generar la representación de la amenaza correspondiente al evento.
- Para el enfoque de mapeo, grafica la extensión espacial y los valores de intensidad direc-

tamente en un mapa. Esta actividad consiste en utilizar datos disponibles sobre la extensión espacial y valores de intensidad para mapear el evento. Consulta la orientación específica para cada amenaza que presentamos más adelante en este capítulo para generar el mapa de la amenaza correspondiente al evento.

Evaluación de susceptibilidad a la amenaza

Este análisis consiste en crear un mapa que muestre las áreas de mayor susceptibilidad a una amenaza específica. Algunas amenazas son difíciles de modelar de forma probabilista y en ocasiones un mapa de susceptibilidad sirve para identificar la amenaza. Este enfoque es más simple y no requiere de tantos recursos como los demás.

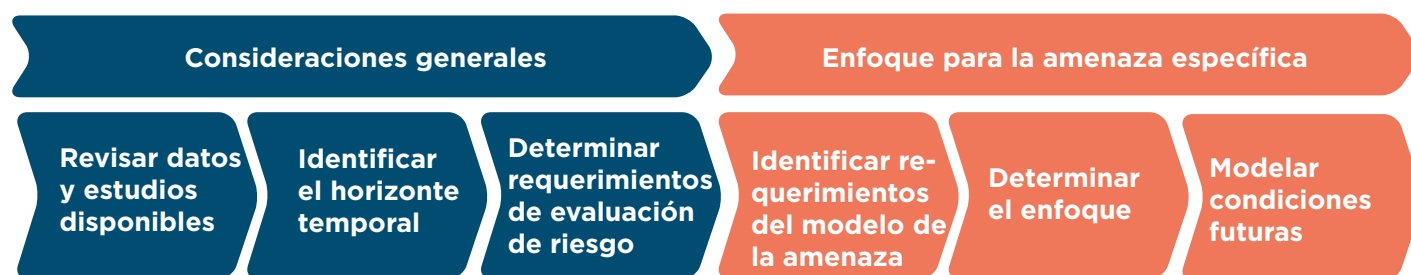
1) Identificar y recopilar datos sobre la amenaza:

Esta actividad consiste en identificar conjuntos de datos a utilizar como variables para determinar áreas con diferentes niveles de amenaza. Las siguientes preguntas sirven de ayuda para determinar el enfoque a implementar dependiendo de los datos disponibles:

- ¿Existen datos disponibles para elaborar un mapa de susceptibilidad? Se puede recurrir a otras fuentes de información como ayuda para trazar un mapa y generar una capa de susceptibilidad a la amenaza. Este análisis debe realizarse en un SIG y recoger los resultados. En caso de existir datos disponibles, avanza a la Actividad 2. De lo contrario, pasa a la siguiente pregunta.
- ¿Hay mapas de susceptibilidad disponibles? En caso afirmativo, recógelos en formato SIG y pasa a la Actividad 2.

2) Desarrollar mapas de susceptibilidad:

Esta actividad consiste en utilizar el procedimiento identificado en la actividad anterior para trazar un mapa de susceptibilidad a la amenaza. Estos conjuntos de datos de salida suelen incluir un mapa de polígonos con áreas enumeradas. Consulta la

Figura 6.8. Consideraciones generales para elegir un enfoque específico a la amenaza

orientación específica para cada amenaza que presentamos más adelante en este capítulo para generar los mapas. El resultado debería ser más fácil de generar que en un análisis probabilista o determinista y ofrece al usuario una idea general de qué podría verse afectado por la amenaza.

Análisis histórico de línea de tiempo

Este tipo de análisis es un método de evaluación de riesgo simplificado utilizado específicamente para el sector agrícola y es tratado como un caso especial en la Metodología debido a que los modelos de riesgo de desastres más detallados para el sector agrícola aún son muy nuevos y están en desarrollo; por lo tanto, los otros enfoques más estandarizados detallados en esta Metodología para los componentes de amenaza, exposición y vulnerabilidad no necesariamente sirven para este sector.

El método fue desarrollado por el Banco Mundial (2016) en su documento titulado *Agricultural Sector Risk Assessment: Methodological Guidance for Practitioners*. Su objetivo no es desarrollar en profundidad modelos de amenazas y vulnerabilidad, sino calcular las pérdidas en la producción agrícola debidas a amenazas naturales utilizando datos históricos sobre pérdidas. Por lo tanto, dentro de este enfoque del riesgo, el componente de amenaza es tratado implícitamente mediante la construcción de una línea de tiempo de eventos ocurridos en el pasado. Esta línea de tiempo de eventos ocurridos en el pasado debido a amenazas naturales (principalmente hidrometeorológicas, que son las que tienen impacto en los cultivos) debe elaborarse para el periodo de tiempo más largo posible (y coincidir con periodo abarcado por la línea de tiempo de producción agrícola) e incluir eventos de inundación, sequía, cambios de temperatura extremos y huracanes (considerando tanto mareas de tormenta como los efectos del viento). La línea de tiempo puede diferenciarse por tipo de ame-

naza para determinar pérdidas anuales promedio por amenaza. Para obtener más detalles sobre cálculo de riesgo consulta la evaluación simplificada de riesgo agrícola en la sección **Análisis histórico de línea de tiempo bajo el resumen de métodos de cálculo del riesgo**.

Consideraciones generales sobre cambio climático

Las consideraciones sobre cambio climático son relevantes para la mayoría (no la totalidad) de los tipos de amenazas. Los detalles del enfoque dependen del modo en que el potencial cambio climático puede afectar la amenaza. Dependen también de la metodología de evaluación de amenazas seleccionada (Tabla 6.3), que puede variar de una simple evaluación de susceptibilidad a un análisis probabilista detallado con herramientas de modelado complejas. El gráfico de flujo de la Figura 6.8 presenta el enfoque de evaluación del cambio climático comenzando por actividades que implican una consideración general, pasando luego a actividades relacionadas con amenazas específicas.

Los posibles resultados del cambio climático agregan un nivel adicional de incertidumbre al análisis de amenazas. La evolución de las condiciones climáticas futuras, que depende de las actividades humanas, como las futuras emisiones de gases de efecto invernadero, no puede predecirse con certeza; diferentes modelos climáticos pueden brindar proyecciones divergentes sobre respuestas climáticas relevantes incluso si se las fuerza mediante los mismos supuestos.

La dirección del cambio en la temperatura suele ser muy robusta (calentamiento), e incluso las diferencias espaciales son bastante pequeñas. En el caso de las precipitaciones, no obstante, las diferencias entre modelos suelen ser mayores y los campos de respuesta a nivel de punto de la malla suelen ser mucho más ruidosos. Por lo tanto, en este caso es importante evaluar los patrones de gran escala y verificar si

los campos de cambio exhiben estructuras amplias dinámicamente relacionadas o si las proyecciones están dominadas por ruido a nivel de puntos de la malla y variabilidad natural. Resulta útil comparar los cambios proyectados con la variabilidad inherente subyacente (varianza o desviación estándar). En muchos lugares de la Tierra, la amplia variabilidad natural vuelve insignificantes o solo marginalmente significativos los cambios proyectados para la precipitación media, en particular durante muchas décadas a futuro. No obstante, también se debe tener en cuenta que la muy pequeña variabilidad natural en las latitudes inferiores genera el problema opuesto: incluso pequeños cambios proyectados pueden rápidamente hacer que ciertas cantidades climáticas queden fuera del rango experimentado previamente, y la posibilidad de que ocurran impactos sustanciales en el medio ambiente puede en consecuencia ser bastante alta.

La evaluación de amenazas suele enfocarse en eventos extremos, por lo que no es suficiente examinar únicamente los valores medios de las proyecciones del clima futuro generadas por los modelos. Por lo tanto, también resulta interesante consultar los cambios proyectados en fluctuaciones interanuales (variabilidad) o incluso en los extremos de la distribución (condiciones más extremas) de características climáticas diarias o mensuales (por ej., las mayores intensidades de precipitaciones). Si bien es posible que los valores medios presenten cambios pequeños con relación a la variabilidad natural, los extremos pueden responder de forma mucho más sustancial. En general, esta respuesta puede estar asociada a la mayor temperatura de la atmósfera que ofrece una capacidad potencial mayor de transportar humedad y por lo tanto puede haber más agua disponible para precipitaciones (relación Clausius-Clapeyron). Por lo tanto, en regiones donde las proyecciones indican una disminución en la precipitación media también es posible hallar mayores extremos. No obstante, las diferencias entre modelos en esta cantidad también podrían ser bastante notorias y es importante consultar la calidad de los modelos. En términos generales, los modelos climáticos globales con resolución mayor a 100 km no son herramientas ideales para estudiar extremos de pequeña escala, aunque sí indican el potencial de cambios que pueden tener un impacto significativo en el terreno.

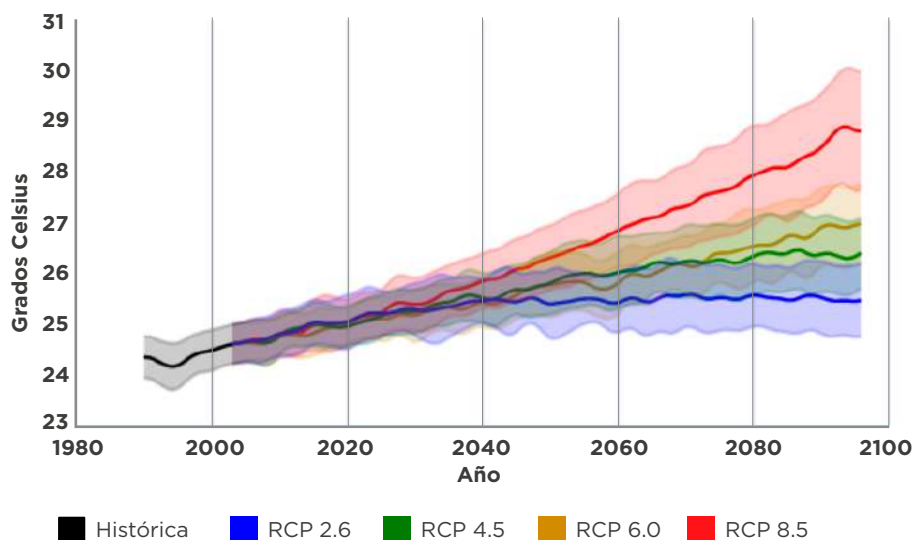
Un enfoque que puede adoptarse es evaluar múltiples MCG disponibles y escoger aquellos que definan la amenaza probable máxima razonable en condiciones de cambio climático (por ej., modelos cercanos al percentil 90 de la distribución con relación a la amenaza de interés). Otro enfoque consiste en utilizar la media tomada de un conjunto de múltiples modelos (ensemble) como el resultado futuro más probable y luego examinar diferencias entre los modelos que forman parte del conjunto para ayudar a informar la incertidumbre en este cálculo estimativo.

En general, al consultar proyecciones de modelos, y porque el clima futuro es incierto, no se debe confiar en el resultado de un único modelo climático para evaluar el riesgo de cambio climático. Por el contrario, es importante intentar capturar el rango de condiciones climáticas probables razonables que se relacionan con las amenazas de interés. Por lo tanto, resulta útil considerar grandes conjuntos de resultados de modelos (ensemble) ya que los modelos individuales pueden presentar diversos tipos de sesgos. Un conjunto multimodelo de 10 o más modelos tiende a ser bastante robusto. No obstante, la media tomada del conjunto de múltiples modelos también tiende a ocultar el rango de incertidumbre dado por el rango de resultados que se obtienen de los diferentes modelos y es por ello que resulta útil poder acceder a modelos individuales. Otras medidas de dispersión de modelos, como percentiles dentro de un conjunto, también ayudan a representar el rango de incertidumbre.

Por último, puede resultar particularmente útil consultar series cronológicas de cambio procedentes de múltiples modelos para separar con mayor claridad diferentes supuestos de escenarios de emisión, incertidumbre del modelo y momento del cambio con respecto a una serie de referencia observada (la Figura 6.9 muestra las proyecciones multimodelo de CMIP5 sobre el cambio de temperatura agregado por país para Colombia siguiendo distintos RCP). Las series individuales fueron suavizadas con un filtro de 7 puntos para suprimir el ruido de la variabilidad interanual. Se observa una superposición de los RCP hasta alrededor del año 2040 y una posterior separación de la señal de calentamiento. El rango gris indica el percentil 10 a 90 de los resultados de la combinación multimodelo.

Figura 6.9. Ejemplo de proyecciones de cambio climático

Tendencias proyectadas como serie cronológica
País: Colombia
Variable: Temperatura promedio



A pesar de las continuas mejoras en los modelos de circulación general (MCG) y de las capacidades de cómputo de las computadoras de alto rendimiento, la resolución espacial de los actuales MCG aún es demasiado gruesa para utilizarla de forma directa en aplicaciones para proyectos específicos. Por ejemplo, la resolución espacial de los MCG incluidos en la Fase 5 del Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados (CMIP5) oscilan entre aproximadamente 0,5 grados a 4 grados en horizontal (aproximadamente 50 km a 400 km, Taylor y otros, 2012). Para superar el problema de la resolución, se suele recurrir a un método de downscaling a fin de traducir las señales de cambio climático representadas por modelos climáticos en cambios en parámetros meteorológicos a escala regional y local.

Los resultados de los MCG cuya escala espacial ha sido reducida y cuyos sesgos han sido corregidos pueden ayudar a resolver el problema de la escala, aunque únicamente en zonas donde existen abundantes registros climáticos locales para respaldar el proceso de downscaling y corrección de sesgos. Existen diversos métodos de downscaling, que van desde simples métodos “delta”, donde el registro meteorológico histórico simplemente se ajusta incrementalmente, a métodos estadísticos más sofisticados que relacionan procesos atmosféricos de gran escala con observaciones a escala local.

Existen múltiples métodos de downscaling para traducir resultados de modelos de resolución gruesa a una escala local, con dos categorías amplias gene-

ralmente consideradas, que incluyen 1) downscaling estadístico, que desarrolla relaciones matemáticas entre campos climáticos observados y resultados de modelos climáticos de gran escala y/o pequeña escala, y 2) downscaling dinámico, que recurre a modelos climáticos regionales con fundamentos físicos (MCR). En el downscaling estadístico, las relaciones matemáticas entre parámetros meteorológicos observados en diversas ubicaciones geográficas se relacionan con parámetros climáticos de mayor escala correspondientes a la escala de los MCG. Las relaciones, basadas en observaciones históricas, se transforman en una función de mapeo que se utiliza para trasladar las condiciones climáticas proyectadas de la escala grande de los MCG a la escala local de las observaciones. Los métodos de downscaling estadístico suelen utilizar “generadores de tiempo meteorológico” estocásticos que incluyen algoritmos estocásticos y estadísticos rigurosos (Flint 2012; Landman y otros 2001; Wilby y otros 2003; Wilby y Dawson 2013; Yates y otros 2003). Una ventaja de los métodos de downscaling estadístico es que no son computacionalmente costosos, aunque presentan la desventaja de que se asume que las relaciones estadísticas desarrolladas para el periodo histórico se mantienen también para condiciones futuras, lo cual no es verificable.

La downscaling dinámico consiste en utilizar un modelo climático regional (MCR) para traducir los campos climáticos de escala gruesa de los MCG a una escala regional o local (Mearns y otros, 2009; Rasmussen y otros, 2016). Los modelos climáticos

regionales utilizan los resultados de los MCG como condiciones de contorno para simular procesos meteorológicos regionales/locales. De forma similar a los MCG, los MCR se basan en las representaciones explícitas de las leyes de termodinámica y mecánica de fluidos, por lo que el downscaling dinámico suele representar campos climáticos de alta resolución como la precipitación con mayor precisión. El downscaling dinámico no ha sido aplicado de forma generalizada, principalmente por sus altas exigencias de cómputo para proyecciones climáticas a largo plazo. Además del downscaling estadístico y dinámico, también existen métodos híbridos que combinan los dos anteriores.

La Figura 6.10 resume los métodos de downscaling comúnmente aplicados a los resultados de los MCG para planificación de infraestructura y análisis de amenazas. El enfoque más simple suele denominarse “Método Delta”, en el que la diferencia entre las proyecciones de modelos climáticos para condiciones actuales y futuras son tomadas como una estimación del cambio relativo de un campo climático. Por ejemplo, el cambio incremental en la temperatura es aplicado a la serie de temperaturas históricas. El Método Delta sería el más adecuado, por ejemplo, para los problemas de gestión del agua como planificación de reservorios o sequías, donde la resolución temporal del análisis podría ser mensual o más extensa. El Método Delta quizás no sea apropiado para el análisis de riesgo de amenazas donde se requieren datos con una mayor definición temporal, como precipitación horaria o diaria. Simplemente modificar la precipitación con relación al periodo histórico podría no reflejar los cambios en sus características extremas como intensidad, frecuencia y duración. Existen otros métodos de downscaling estadístico como los enfoques “no paramétricos”, que utilizan técnicas clásicas de “bootstrapping” que remuestrean los datos históricos para generar nuevas secuencias informadas por las señales de cambio de los MCG. El término “no paramétrico” se refiere al hecho de que no hay relaciones estadísticas subyacentes desarrolladas sino que estos métodos “reorganizan” los datos históricos de forma eficaz para generar datos climáticos sintéticos. Un método no paramétrico muy conocido es el denomi-

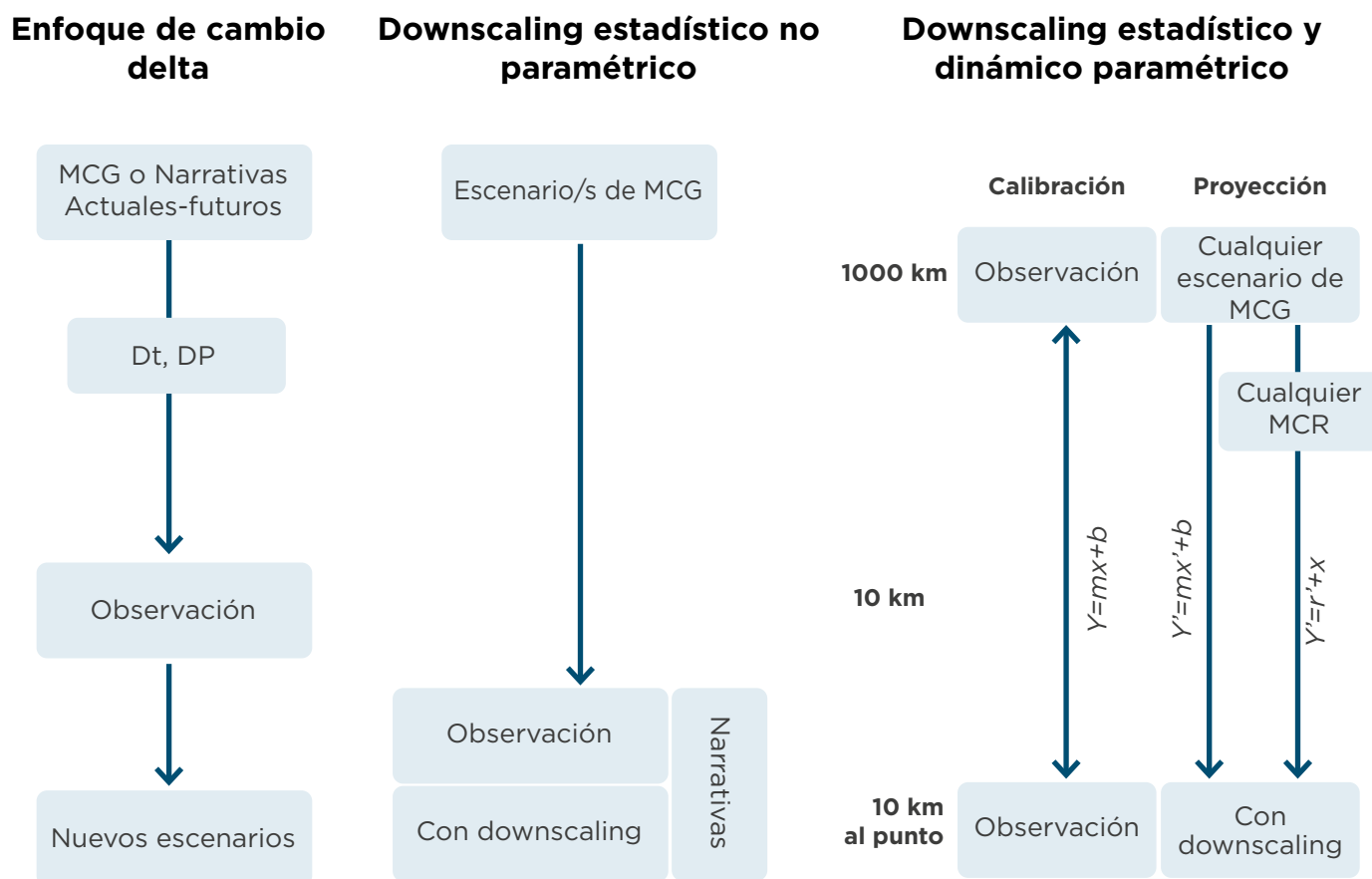
nado K-vecino más cercano (*K-nearest neighbor* en inglés) (Rajagopalan y Lall, 1999; Sharif y Burn, 2006; Yates y otros, 2003). Los métodos paramétricos desarrollan explícitamente relaciones matemáticas entre campos climáticos de gran escala y observaciones meteorológicas locales. La forma más simple sería la regresión lineal, donde los “parámetros” serían la pendiente y la intersección que constituyen la base de la relación entre el campo climático de gran escala y la observación local. El downscaling dinámico está incluido dentro del dominio paramétrico en la Figura 6.10 debido a que los MCR también traducen señales de los MCG al nivel local pero lo hacen utilizando un modelo atmosférico completo. Incluso en este caso, los resultados del MCR podrían no representar de forma precisa atributos meteorológicos a escala local y requerirían una transformación estadística (Liu y otros, 2017).

Ciertas actividades y preguntas se aplican a todos los tipos de amenaza. En general, la recopilación de datos climáticos puede comenzar formulando las siguientes preguntas:

1. ¿Existen estudios previos que brinden datos de cambio climático necesarios, su evaluación y síntesis con respecto a su adecuación para el estudio?
2. ¿Qué horizonte temporal se requiere para la evaluación?
3. Si no hay estudios previos disponibles, ¿qué nivel de detalle se necesitaría y con qué resolución espacial y temporal para considerar el cambio climático en la evaluación de riesgo de desastres y cambio climático?
4. ¿Es suficiente una estimación “razonable” de cambios porcentuales probables, o se requiere de estimaciones cuantitativas más precisas y localizadas?

Las respuestas a esta última pregunta pueden requerir repetir los pasos de la evaluación de riesgo para determinar si hace una diferencia. ¿Pequeños cambios en los datos de entrada producirían grandes

Figura 6.10. Resumen de métodos de downscaling que pueden utilizarse para desarrollar proyecciones futuras



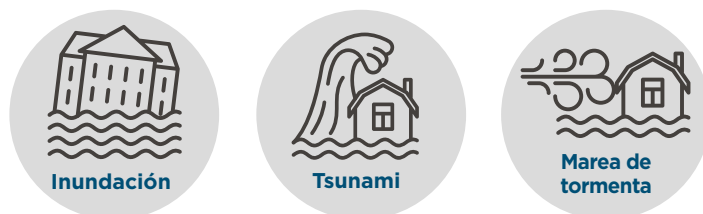
Fuente: Adaptado con base en Maraun y otros (2010).

cambios en las estimaciones de riesgo? Si la imprecisión de los datos de entrada tiene escaso impacto en el riesgo (porque no produce grandes cambios en la amenaza o bien porque el nivel de vulnerabilidad es bajo), entonces no tiene mayor sentido realizar un gran esfuerzo para aumentar la precisión de los datos de entrada.

Considerando los diferentes enfoques de evaluación de amenazas descritos anteriormente, a continuación se analizan los requerimientos específicos por amenaza. Para obtener información más detallada sobre los diferentes programas de software disponibles para cada amenaza, consulta el Apéndice D. Al implementar los métodos descritos aquí, ten en cuenta que la falta de datos observacionales suficientemente extensos y de buena calidad puede constituir una importante limitación que impida la formulación de especificaciones de diseño o el reconocimiento de la necesidad de realizar cambios. Por ejemplo, si los registros locales

de datos climáticos son breves, suele correrse el riesgo de no capturar la variabilidad natural inherente de un lugar, lo cual lleva a subestimar los riesgos de desastre locales y a interpretar de manera errónea los cambios climáticos futuros proyectados. Existen bases de datos globales que pueden consultarse pero dependiendo de las aplicaciones pueden no necesariamente ser suficientes.

Inundación costera, tsunami, marea de tormenta de huracán



La inundación costera, también denominada inundación por mareas o inundación costera superficial, se refiere a la inundación de tierras costeras

debido a que el nivel del mar aumenta por encima de las mareas normales. Estos niveles elevados del mar son causados por tsunamis y/o por las mareas de tormentas. Cuando este nivel del mar elevado llega a tierra, dependiendo de las características físicas y ambientales que pueden controlar su impacto, usualmente esto se traduce en una inundación del área costera circundante (Benavente y otros, 2006).

La marea de tormenta se define como la elevación vertical del agua en tierra sobre el nivel de marea normal que ocurre cuando vientos fuertes y una presión baja asociados a eventos de lluvia extremos, tormentas tropicales y/o huracanes elevan el nivel del mar y generan olas que mueven el agua tierra adentro (Kurian y otros, 2009). La altura de las olas generada por la marea de tormenta se define como la altura máxima adicional que alcanzan las olas ya rotas mientras entran tierra adentro antes de que su energía se disipe (Ebersole y otros, 2010).

Los tsunamis son otros de los factores generadores de la inundación costera. Éstos son causados por perturbaciones abruptas en el fondo del mar generadas principalmente por sismos y, en menor medida, por deslizamientos de tierra y actividad volcánica. Fallas sísmicas locales usualmente generan tsunamis locales que afectan el área en cuestión de minutos del evento (Katsetsiadou y otros, 2016). Sismos mayores generados en fallas lejanas pueden crear tsunamis a miles de kilómetros de distancia. Por ejemplo, perturbaciones en el fondo del mar a lo largo del Anillo de Fuego del Pacífico tienen el potencial de generar tsunamis en cualquier lugar desde Asia hasta América y son, por lo tanto, de especial importancia para toda la costa Pacífica de Latinoamérica.

Los eventos de inundación costera asociados con tsunamis y marea de tormenta son responsables por la mayor cantidad de muertes y daños económicos causados por amenazas naturales. Uno de los eventos más destructivos registrado fue el huracán Bhola que afectó Bangladesh en 1970 y generó una marea de tormenta de 10 metros de altura que causó la muerte de al menos 500.000 personas (Frank y Husain, 1971). Más recientemente,

el sismo de Sumatra-Andman en 2004 (generado en la costa noroeste de Sumatra, Indonesia) generó una serie de olas de tsunami de hasta 30 metros de altura y causó la muerte de 227.898 personas aproximadamente en 14 países (Satake y Atwater, 2007).

La mitigación del riesgo por inundación costera debe basarse en una evaluación del riesgo integral. Esto requiere una estimación de la amenaza por inundación (marea de tormenta o tsunami y sus probabilidades asociadas, por ejemplo) y las consecuencias de la inundación en el medio ambiente, activos, medios de vida y personas (Moftakhari y otros, 2019). A continuación se presenta una descripción de las tres dimensiones de un análisis de amenaza por inundación costera: extensión espacial, intensidad y frecuencia, así como de los modelos que se utilizan generalmente para esta evaluación.

Análisis de amenaza por inundación costera

La extensión espacial, intensidad y frecuencia de las amenazas por inundación costera son medidas por y dependen de una serie de factores físicos y ambientales.

- *Extensión espacial:* la extensión espacial de estas amenazas generalmente se determina al intersecar la elevación máxima del agua con la topografía tierra adentro (Moftakhari y otros, 2019).
- *Intensidad:* si bien el parámetro fundamental usado para estimar la intensidad de la amenaza por inundación costera es la altura de inundación máxima, dependiendo del factor generador de la inundación costera, también se pueden utilizar otras medidas de intensidad (Brenden y otros, 2018). Para inundación costera generada por marea de tormenta, la altura máxima de penetración de ola (*run-up*) o el aumento del nivel medio del mar debido al rompimiento de olas (*set-up*) son medidas adicionales usadas para estimar la intensidad. Para inundación costera generada por tsunamis, dado que esta amenaza puede

generar dos tipos de sub-amenazas - inundación por tsunamis (aumento lento del agua) y flujo de tsunamis (flujo torrencial que genera fuerzas laterales significativas) -, también se utilizan la velocidad de flujo (m/s) y el flujo de momento (velocidad al cuadrado multiplicada por profundidad de agua - m^3/s^2).

- **Frecuencia:** la frecuencia de la amenaza por inundación costera está dada por un periodo de retorno asociado (promedio de la frecuencia con la que pueden ocurrir). Las inundaciones de intensidad pequeña ocurren con gran frecuencia mientras que las inundaciones de intensidad grande ocurren en forma muy esporádica. En general, los ingenieros utilizan valores de altura del agua con periodos de retorno específicos para diseñar infraestructura. Además la curva de amenaza - que es un gráfico de la intensidad (por ej., altura del agua, altura máxima de penetración del agua o velocidad de flujo) versus la tasa de exceedencia anual - se utiliza en las evaluaciones totalmente probabilistas para representar los niveles de intensidad resultantes considerando todos los periodos de retorno de eventos de inundación posibles en un área (Brenden y otros, 2018).

Existen diversos mecanismos físicos y medio ambientales que controlan la extensión espacial, la intensidad y la frecuencia de las amenazas por inundación costera. Los factores que controlan la intensidad y extensión espacial incluyen la geometría de la costa marina cercana (*nearshore*) y de la planicie costera, dado que, a menor pendiente, mayor posibilidad de sufrir inundación. La composición geológica también es un factor de control, ya que áreas costeras que han sido fuertemente erosionadas - donde el aumento del nivel del mar localmente, la acción fuerte y prolongada de las olas y/o las inundaciones periódicas erosionan y transportan material geológico a lo largo de la costa - también tienden a ser más susceptibles a la amenaza por inundación costera. Es por esto que las costas rocosas dominadas por materiales fuertes tienden a ser menos vulnerables a la erosión y tienen una gran capacidad de atenuar la energía

de las olas, restringiendo la extensión espacial del *run-up* en tierra (Felton y Crook, 2006). Las planicies costeras sin manglares, arrecifes coralinos, pastos marinos u otras barreras naturales o construidas están más expuestas a tsunamis y mareas de tormenta, dado que no cuentan con servicios ecosistémicos de protección costera (Temmerman y otros, 2013). El aumento del nivel del mar inducido por el cambio climático a nivel global o a nivel local generado por subsidencia del suelo puede amplificar la extensión espacial e intensidad de la inundación costera al aumentar el nivel del mar relativo al nivel costero de la tierra. El cambio climático también puede aumentar la frecuencia de estos eventos porque el aumento del nivel del mar y de la temperatura hace que los eventos de lluvia, tormentas (y por ende, marea de tormenta) sean más frecuentes e intensos (Brenden y otros, 2018).

La frecuencia, extensión espacial e intensidad de la amenaza por inundación costera pueden ser estimadas y analizadas usando enfoques que varían entre la aplicación de herramientas simples y básicas para evaluaciones de alto nivel hasta modelos altamente complejos para análisis detallados.

Herramientas utilizadas para análisis de la amenaza por inundación costera de alto nivel

Algunas de las herramientas para inundación costera inducida por marea de tormenta incluyen:

- Coastal Inundation Dashboard en tiempo real de NOAA (NOAA, s.f. b): entorno de SIG que ofrece información sobre mareas en tiempo real (de unas pocas estaciones en el Caribe) y sistemas tropicales activos (incluido seguimiento y pronóstico de intensidad, como así también alertas y vigilancia). La plataforma es de libre acceso en <https://tidesandcurrents.noaa.gov/inundationdb/>
- Inundation Analysis Tool de NOAA (NOAA, s.f.): ofrece estadísticas de frecuencia y duración de inundación en una ubicación geográfica determinada utilizando datos procedentes de observaciones de las estaciones de marea del Center for Operational

Oceanographic Products and Services de NOAA . La herramienta es de libre acceso en <https://tidesandcurrents.noaa.gov/inundation/>

Las herramientas para análisis rápidos de alto nivel para inundación costera inducida por tsunamis incluyen:

- Center for Tsunami Research de NOAA: centro de información y recursos adicionales disponible en <https://nctr.pmel.noaa.gov/>
- Deep-Ocean Assessment and Reporting of Tsunamis de NOAA, DART (PMEL, s.f.): sistema de monitoreo de tsunamis en tiempo real desarrollado por Pacific Marine Environmental Laboratory (PMEL) basado en estaciones de monitoreo situadas estratégicamente en todo el océano. <https://nctr.pmel.noaa.gov/Dart/>
- Global Historical Tsunami Database de NGDC (National Geophysical Data Center): ofrece información sobre fenómenos de tsunami desde el año 2000 A.C. hasta la actualidad en los océanos Atlántico, Índico y Pacífico, como así también en el Mar Mediterráneo y el Mar Caribe. Esta base de datos es de acceso libre y abierto en https://www.ngdc.noaa.gov/hazard/tsu_db.shtml

Enfoques utilizados para la modelación de la amenaza por inundación costera

Existen numerosos tipos de modelos costeros que pueden ejecutarse por separado o acoplados. Existen modelos para océano abierto y modelos para aguas superficiales que utilizan diferentes supuestos para la ecuación de momento. Los modelos para aguas superficiales asumen que la escala horizontal es mucho mayor que la escala vertical.

También existen diferentes tipos de modelos de inundación y de marea de tormenta. Existen modelos que se enfocan en la hidrodinámica en sí (rango de mareas y corrientes), otros que van más allá y calculan la inundación en celdas secas cercanas, otros se enfocan en la propagación de las olas

desde aguas profundas e intermedias hacia aguas poco profundas y otros que se enfocan en la transformación de las olas y su interacción con las estructuras (modelos de *run-up* y desbordamiento). Algunos modelos tienen módulos para cada proceso y suelen permitir acoplamiento entre sí para obtener resultados más precisos. El Apéndice D presenta ejemplos específicos de cada uno de estos modelos y programas de software. Los modelos descritos en el Apéndice D fueron sometidos a evaluación por parte de pares y son reconocidos como aceptables por numerosas entidades gubernamentales.

Los modelos hidrodinámicos requieren de dos insumos de entrada básicos, la batimetría y condiciones de contorno. Los resultados del modelo pueden limitarse por la resolución de la malla de batimetría, por lo tanto cuanto mayor sea la resolución, mejor. Condiciones de contorno como la serie cronológica de nivel de agua, componentes armónicos, caudales hídricos, viento y corrientes son insumos vitales. Mientras que la batimetría es fundamental para los modelos de olas, se puede utilizar diferentes combinaciones de las condiciones de contorno mencionadas pero es importante representar los procesos más relevantes en el área de estudio. Este tipo de modelo requiere que el contorno sea una serie cronológica de parámetros de ola (altura de ola significativa, periodo pico, dirección, dispersión de ola) o espectros de ola (energía para cada frecuencia y dirección). También puede tratarse de una serie cronológica de viento si el modelo tiene la opción de crecimiento por acción del viento para la propagación de ola.

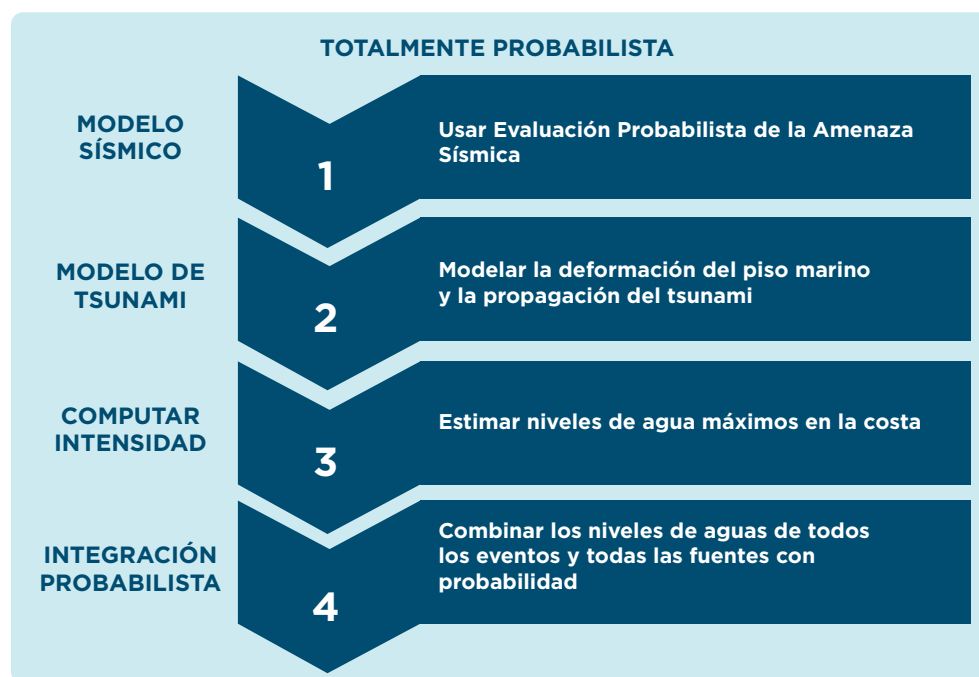
En el caso específico de la marea de tormenta, además del modelo hidrológico costero, se debe utilizar un modelo de tormenta tropical o huracán como el foco generador de los fenómenos de mareas de tormenta.

Las evaluaciones probabilistas, deterministas y de susceptibilidad son los tres enfoques de modelación más comúnmente usados para estimar la amenaza por inundación costera (Moftakhari y otros, 2019). A continuación se presenta una descripción de estos enfoques junto con explicaciones de casos y situaciones donde cada uno es más adecuado.

Evaluación probabilista de la amenaza: Los modelos de inundación y marea de tormenta descritos anteriormente pueden ser difíciles de implementar de manera totalmente probabilista debido a sus propias complejidades, especialmente si se requiere un nivel de detalle alto, el cual a su vez requiere utilizar un modelo más detallado. Si este es el caso, entonces un modelo determinista puede ser más adecuado ya que, a pesar de que sacrifica la cuantificación de la incertidumbre y las probabilidades de ocurrencia, captura todas las especificaciones y requerimientos con gran detalle. Sin embargo, en lugar de un modelo determinista, comúnmente se utiliza una evaluación probabilista cuando existe elevada incertidumbre en los parámetros de modelación. Por lo tanto, si la incertidumbre es un factor importante en el análisis, entonces pueden usarse versiones simplificadas de los modelos descritos anteriormente para permitir el esfuerzo computacional mayor de un análisis probabilista. En cualquier caso, un enfoque probabilista simplificado requiere menos recursos que uno totalmente probabilista y representa una opción intermedia entre los enfoques deterministas y totalmente probabilistas, ya que presenta un adecuado balance entre el nivel de detalle en el modelo hidrodinámico y la habilidad de cuantificar incertidumbres y tasas o probabilidades de ocurrencia. En general, para cualquier tipo de inundación costera, para el análisis totalmente probabilista se generan eventos estocásticos. Para el análisis probabilista simplificado, se identifica una altura de inundación para cada periodo de retorno.

Para el caso específico de la marea de tormenta, puede utilizarse el método totalmente probabilista aplicado por CIMNE y otros (2015) para el Global Assessment Report 2015 (Informe de Evaluación Global, o GAR 15 por sus siglas en inglés). Este método comienza utilizando un conjunto de huracanes históricos donde cada evento individual es perturbado para generar una familia de eventos “hijos” asociados. La inundación por marea de tormenta (en términos de *run-up*) luego se computa para cada evento nuevo generado y los resultados se utilizan para calcular la distribución de probabilidades de la intensidad de la amenaza (que se modela con una distribución Gama).

En el caso específico del tsunami, en la década de 1980 se desarrolló un enfoque de modelación de la amenaza totalmente probabilista denominado Evaluación probabilista de amenaza por tsunami (PTHA, por sus siglas en inglés) (Lin y Tung, 1982; Rikitake y Aida, 1988) pero se utilizó en forma muy esporádica hasta principios de la década de 2000, cuando los desarrollos de Gesit y Parsons (2006) fortalecieron el enfoque, que ahora se implementa de manera más generalizada (véase Annaka y otros, 2007; Parsons y Geist, 2009; Gonzalez y otros, 2009; Thio y otros, 2010; Sørensen y otros, 2012; Horspool y otros, 2014; Lorito y otros, 2014; Burbidge y otros, 2008; Løvholt y otros, 2012). Esta evaluación probabilista de amenaza por tsunami, que se basa en una evaluación probabilista de amenaza sísmica (véase la sección sobre amenaza sísmica más adelante), fue utilizada por el Norwegian Geotechnical Institute, NGI, para el GAR 15 (Løvholt y otros, 2014; Løvholt y otros, 2014b; NGI y GA, 2015) y la integró por primera vez en una evaluación de riesgo totalmente probabilista. En términos generales, la evaluación probabilista de amenaza por tsunami consiste en computar ondas de tsunami “unitarias” a lo largo de la costa generadas por cada fuente sísmica y para un desplazamiento unitario, que luego se utilizan para sintetizar cualquier onda mediante la suma (aplicando el principio de superposición lineal) de ondas unitarias, cada una con una ponderación dada por el desplazamiento. Las fuentes sísmicas se caracterizan probabilísticamente mediante un modelo de recurrencia (véase la sección sobre amenaza sísmica para conocer más detalles). En resumen, la evaluación totalmente probabilista de amenaza por tsunami requiere de los siguientes cuatro pasos (véase la Figura 6.11); véase NGI y GA (2015) y Horspool y otros (2014) para conocer más detalles.

Figura 6.11. Evaluación totalmente probabilista de amenaza por tsunami

1. Se utiliza la evaluación totalmente probabilista de amenaza sísmica y se definen las fuentes sísmicas, que luego se subdividen en sub-fuentes unitarias y se aplica un modelo de recurrencia (por ej., el modelo de Gutenberg-Richter o de terremoto característico). Véase la sección sobre amenaza sísmica más adelante. Aquí, las sub-fuentes unitarias se utilizan para general los fenómenos de tsunami unitarios.
2. Un desplazamiento unitario se utiliza para calcular la deformación del suelo marino que pasa a ser la condición inicial de perturbación de la superficie marina. Luego, la onda del tsunami es propagada utilizando la teoría de onda lineal.
3. Se generan eventos estocásticos. Para ello, se calcula el nivel de agua máximo en la costa para cada evento sísmico aplicando el principio de superposición lineal al combinar las olas de todas las sub-fuentes unitarias y luego multiplicarlas por el valor de desplazamiento de cada evento.
4. Los niveles máximos de agua de cada evento sísmico se combinan utilizando las funciones de distribución de probabilidades asociadas para determinar las probabilidades de ex-

dencia de la intensidad del tsunami (nivel del agua o altura del *run-up*).

Los datos de entrada necesarios son: batimetría, series cronológicas de nivel del agua, componentes armónicos, descargas hídricas, viento y corriente, modelo y parámetros de terremoto (tsunami solamente).

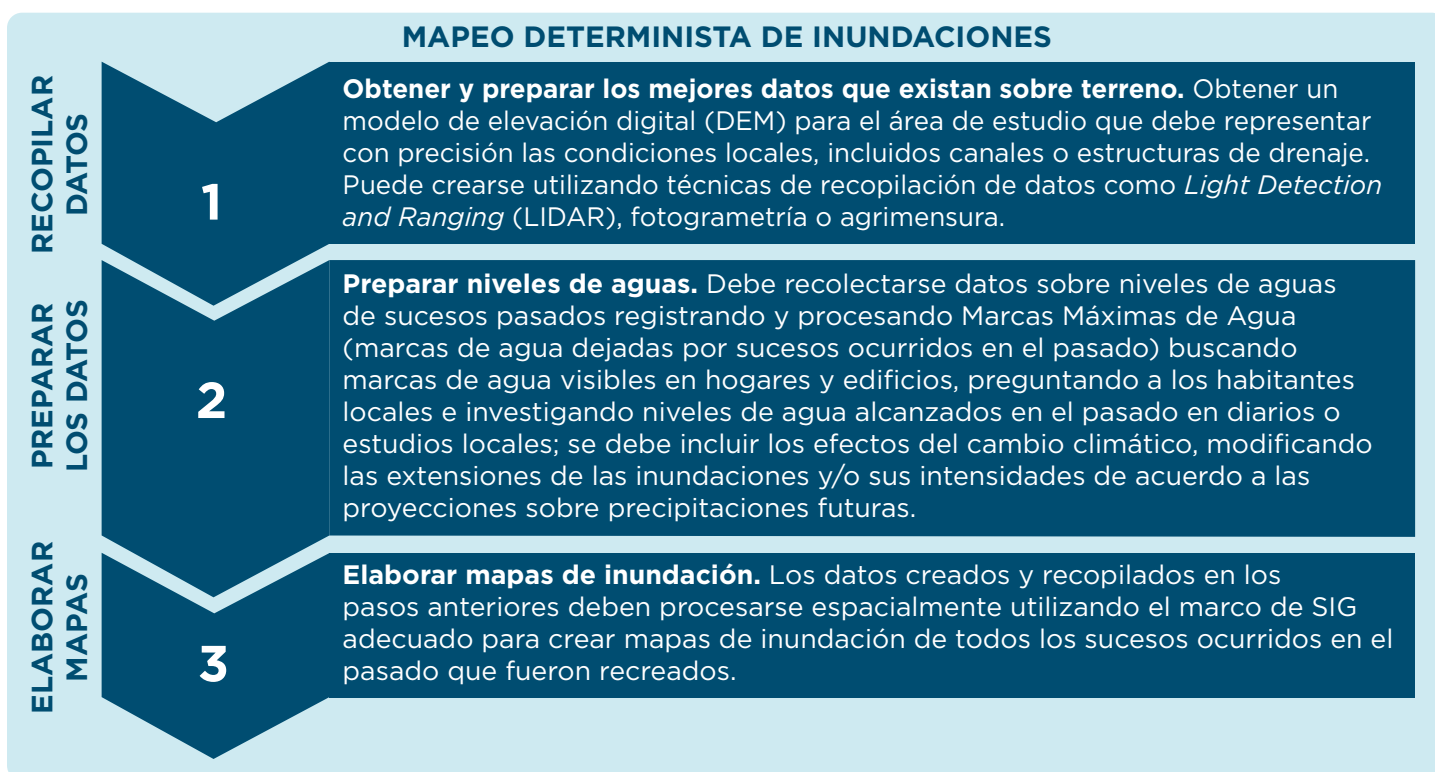
Evaluación determinista de la amenaza: Para el evento ocurrido en el pasado o el caso pesimista modelado se utilizan los mismos modelos costeros analizados anteriormente para modelar escenarios individuales sin consideración de la frecuencia de recurrencia. Aprovechando el hecho de que no se tienen requisitos para calcular la incertidumbre y las probabilidades de excedencia, lo que requeriría recursos adicionales de información, tiempo y esfuerzo computacional, estos modelos pueden construirse para brindar mayor detalle. Para el caso de tsunami, este tipo de evaluación se utilizó ampliamente hasta el año 2004 aproximadamente debido a que para el riesgo de tsunami predominan periodos de retorno extensos (Nadim y Glade, 2006) y, por lo tanto, era preferible utilizar el enfoque del escenario pesimista (véase Tinti y Armigliato, 2003; Legg y otros, 2004; Hebert y otros, 2005; Løvholt y otros, 2006; Okal y otros, 2006; Venturato y otros, 2007; Lorito y otros, 2008).

Para el análisis de mapeo de eventos pasados puede utilizarse imágenes satelitales para demarcar la extensión de la inundación. Este polígono de inundación puede utilizarse con un modelo de elevación digital (DEM, por sus siglas en inglés) para determinar la profundidad de la inundación. La NASA ofrece DEM de treinta metros para todo el mundo, lo cual es una resolución suficiente para efectos de planificación. Otra opción consiste en utilizar marcas de inundación que pueden tomarse directamente luego del evento para ayudar a delinear la extensión de la inundación. Nuevamente, esta área del polígono puede utilizarse con un DEM para determinar profundidades. Las marcas

de inundación suelen hallarse en árboles, puentes y estructuras directamente después de un evento.

La National Oceanic and Atmospheric Administration (Administración Nacional Oceánica y Atmosférica o NOAA, por su siglas en inglés) de Estados Unidos ha estructurado un simple método y una guía para mapeo de inundación que se utiliza como base para un curso sobre mapeo de inundación costera dictado por NOAA (NOAA, s.f.). Para conocer detalles sobre este método véase Mapping Coastal Inundation Primer de NOAA (NOAA, 2012). Este método, ilustrado en la Figura 6.12 consiste en tres pasos:

Figura 6.12. Proceso de mapeo de inundaciones



Para un evento pasado modelado, si el nivel o el flujo del agua fue determinado mediante un fluviómetro, los modelos hidrológicos e hidráulicos descritos anteriormente (para evaluación probabilista de amenazas) pueden utilizarse con valores específicos de nivel de agua y flujo para obtener el área de inundación para el evento individual. Para un caso pesimista modelado, estos modelos pueden ejecutarse con supuestos para los parámetros hidrológicos y rugosidad de la superficie, utilizando batimetría y un DEM más grueso. Se debe consultar a un especialista en modelación de inundación costera para determinar cuáles son los supuestos adecuados para la región estudiada.

Los datos de entrada incluyen: imágenes satelitales de la inundación/marejada, modelo de elevación digital, valor de medición del mareógrafo, batimetría y marcas de inundación levantadas como puntos (para mapeo del evento pasado), y los supuestos correspondientes a nivel de agua, componentes armónicos, descargas hídricas, viento y corriente (para el evento modelado).

Evaluación de susceptibilidad a la amenaza: Este enfoque consiste en desarrollar un mapa simple de susceptibilidad utilizando un DEM. Las áreas con menor elevación serán más propensas a inundarse y deberán estar designadas en el mapa. El mapa de

susceptibilidad también puede incluir tipo de costa, y los humedales y las áreas altamente erosionadas tendrán una designación mayor que las costas rocosas o protegidas por estructuras sólidas. Estas áreas designadas no están asociadas a un intervalo de periodo de retorno.

Los datos de entrada necesarios incluyen: DEM y costa.

Análisis histórico de línea de tiempo: La última opción, que se aplica únicamente al sector agrícola, es el método simple utilizado en el documento *Agricultural Sector Risk Assessment: Methodological Guidance for Practitioners* desarrollado por el Banco Mundial (2016). Dentro de este enfoque del riesgo, el componente de amenaza es tratado implícitamente mediante la construcción de una línea de tiempo

de sucesos ocurridos en el pasado. Esta línea de tiempo de sucesos ocurridos en el pasado debido a amenazas naturales debe construirse para el periodo de tiempo más extenso posible (y coincidir con el periodo de la línea de tiempo de producción agrícola) y debe incluir únicamente eventos de inundación costera para determinar las pérdidas anuales promedio debido a esta amenaza. No obstante, también puede realizarse una evaluación de riesgo multiamenaza, en cuyo caso todos los tipos de amenaza hidrometeorológica (sequías, temperaturas extremas, huracanes) pueden incluirse en la línea de tiempo. Para obtener más detalles sobre cálculo de riesgo, consulta la evaluación simplificada de riesgo agrícola en la sección **Análisis histórico de línea de tiempo bajo el resumen de métodos de cálculo del riesgo**.

Recuadro 6.2. Consejos para la selección del método de evaluación de la amenaza de inundación costera

Para realizar un análisis de un grupo o portafolio de activos en un área extensa donde puede ser difícil analizar cada uno en detalle y no se requiere capturar especificaciones y efectos locales (como la erosión), entonces puede ser más apropiado un enfoque totalmente probabilista. Si ya existe una evaluación probabilista para el área de estudio, se la debe utilizar.

Si se está diseñando o rehabilitando infraestructura una zona costera, donde el lugar de emplazamiento del proyecto²² no tiene dunas u otro tipo de protección contra el agua y se requiere un nivel alto de detalle, un enfoque probabilista simplificado o determinista puede ser más apropiado. Es importante conocer qué componentes del proyecto podrían inundarse, la cantidad de agua de inundación y la velocidad de ola que actuaría en la estructura. Estos enfoques proveerán un análisis de amenaza más detallado. Si la recurrencia de la amenaza juega un papel importante, se debe utilizar un enfoque probabilista simplificado. De lo contrario, si la recurrencia de la amenaza no es importante, se debe utilizar un enfoque determinista.

Algunos modelos costeros requieren gran cantidad de datos que pueden no estar disponibles para la región. Si los datos necesarios para realizar el análisis totalmente probabilista o probabilista simplificado no están disponibles, se debe encontrar expertos con conocimiento sobre costas en la zona y se debe pasar a un enfoque determinista que implica recrear o modelar eventos históricos o casos pesimistas. La información que brinda la evaluación determinista también puede utilizarse para lograr apropiación por parte de las partes interesadas locales, por lo que es aconsejable que se considere mostrarles un evento pasado determinista o un escenario pesimista para poder influenciar la decisión acerca de dónde emplazar el proyecto. La evaluación determinista es más fácil de comprender para quienes no poseen conocimientos técnicos. El análisis determinista puede utilizarse en conjunto con un análisis probabilista para ayudar a las personas a entender ambas perspectivas.

Los mapas de susceptibilidad son adecuados para identificar poblaciones y edificios e infraestructura no pertenecientes al proyecto que son susceptibles y poder determinar los impactos en la comunidad.

²² Si aún no se determinó el lugar de emplazamiento del proyecto, considera trasladar el proyecto a tierras más elevadas lejos de la línea costera para evitar tener que lidiar con esta amenaza específica. Además de mover de lugar el proyecto, otra opción es considerar diseñar las instalaciones contemplando cierto nivel de “falla permitida” pero permitiendo una “recuperación fácil”. En el caso de edificios, por ejemplo, una “falla permitida” significaría diseñar el piso más bajo del edificio de modo que las aguas de inundación puedan ingresar y salir fácilmente del edificio sin instalar barreras que puedan colapsar. Este tipo de diseño permite una rápida recuperación una vez que la inundación finaliza. Los equipos electrónicos y de otro tipo pueden instalarse en los pisos más altos del edificio. Consulta el Apéndice G para conocer más detalles sobre opciones de mitigación.

Integración del cambio climático en la modelación de inundación costera

Otro elemento para considerar es el horizonte temporal, que significa cuán a futuro se necesitará planificar. Se debe verificar la vida útil del proyecto (del Paso 2) para determinar qué horizonte temporal se deberá considerar.

El enfoque principal de la evaluación de estas amenazas es la estimación de las extensiones y profundidades de las inundaciones. Por este motivo, el aumento del nivel del mar siempre constituye un factor climático clave de preocupación. La ocurrencia de aumento del nivel medio del mar es un factor predeterminado, pero los detalles locales exactos se ven afectados por complejas interacciones con la presión del aire y el viento. Por lo tanto, al igual que en el caso de los modelos climáticos, existe una multiplicidad de modelos de aumento del nivel del mar que producen resultados locales diferentes. Algunos enfoques incluso consideran las fluctuaciones locales a escala decadal debido a que el nivel del mar se ve afectado por la circulación climática y oceánica a gran escala. En el caso de planicies costeras bajas donde la caída de grandes cantidades de lluvia puede inundar el terreno, el aumento en las lluvias durante los huracanes también puede constituir un factor de preocupación. Si se utilizan modelos mecánicos para la evaluación, también es posible que se requieran datos sobre otras variables climáticas correspondientes al clima futuro.

Si no existen estudios previos para la zona, el enfoque dependerá de la pregunta general sobre el nivel de precisión requerido. En la mayoría de los casos una “estimación razonable” suele ser suficiente. En ese caso, el 5° Informe de Evaluación del IPCC ofrece un punto de partida adecuado, aunque conservador (extremo inferior del rango de forzamiento posible) en su capítulo sobre aumento del nivel del océano (http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_Chapter13_FINAL.pdf). Un punto de partida alternativo podría ser un enfoque de cambio de escala (Kopp y otros, 2014; Perrette y otros, 2013). Las proyecciones sobre aumento del nivel del mar se han ac-

tualizado desde el IPCC AR5 con proyecciones de cambios generalmente mayores debido a una pérdida de hielo más rápida en los casquetes polares que la pérdida medida anteriormente.

Se puede obtener información sobre otros componentes del clima, como viento, presión atmosférica, lluvias y temperatura en uno de los archivos modelo descritos en el Apéndice E. Por ejemplo, para obtener proyecciones regionalizadas sobre precipitaciones y temperatura en todo el mundo, se puede consultar Global Climate Change Viewer (<http://regclim.coas.oregonstate.edu/gccv/index.html>), y para acceder a un conjunto más amplio de resultados de modelos, incluso predicciones de extremos, se puede consultar el sitio de internet de KNMI Climate Explorer (<http://climexp.knmi.nl/>), entre otros.

Evaluación probabilista de la amenaza: El cambio climático afecta a las fuerzas impulsoras de los modelos costeros. Las precipitaciones y temperaturas totales no se incluyen en los modelos para olas, por lo que su impacto en la propagación de olas puede ignorarse. No obstante, el aumento del nivel del mar tiene un impacto importante en la propagación y *run-up* de las olas. El aumento del nivel del mar se incluye en la configuración de la mayoría de los modelos como un nivel de agua medio adicional. Debido a que los cambios en los patrones de viento globales afectarán el clima de olas y las marejadas, al realizar simulaciones de olas las series cronológicas de parámetros o espectros de ola deben actualizarse de acuerdo a estas condiciones. En los modelos de predicción de mareas de tormenta e inundaciones, los cambios en el viento deben incorporarse en los datos de entrada, al igual que la presión atmosférica en caso de ser posible.

Tanto el viento como las olas que actúan como fuerzas impulsoras pueden tomarse de análisis de extremos considerando periodos de retorno extensos. Los modelos hidrodinámicos y de inundación son más sensibles a los cambios climáticos. El aumento del nivel del mar puede agregarse a la configuración como un nivel de agua medio adicional, tal como se sugiere para los modelos de olas. Algunos modelos no requieren incluir las

precipitaciones como dato de entrada pero para los que sí lo hacen se requiere de series cronológicas sobre precipitación futura. El volumen de agua procedente de lluvias puede agregarse como caudal de ríos. La mayoría de los modelos pueden incluir la temperatura como una variable, por lo que se la puede cambiar como condición inicial o durante la simulación como una serie cronológica de contorno. Algunos modelos pueden utilizar la presión atmosférica como dato de entrada (serie cronológica). Otras variables ambientales como el viento pueden agregarse al modelo para condiciones medias o bien extremas. Puede utilizarse estimaciones sobre erosión futura para el horizonte temporal considerado para cambiar el modelo de elevaciones antes de implementar los modelos costeros.

Datos necesarios: estimaciones sobre nivel medio del mar para el horizonte temporal estudiado en el punto de interés, proyecciones sobre cambios en extremos futuros de viento y presión atmosférica para impulsar los modelos de olas, proyecciones sobre extremos futuros de lluvias y temperatura (si se requiere para los modelos de evaluación de amenazas).

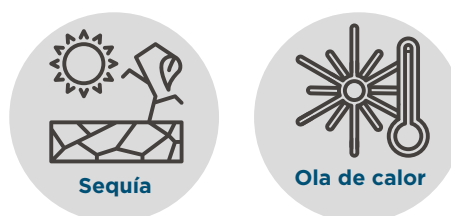
Evaluación determinista de la amenaza: para un evento pasado modelado o para un caso pesimista, se utiliza el mismo enfoque que para la evaluación probabilista de amenazas. Para un análisis de mapeo de eventos pasados, agrega el aumento del nivel del mar a la elevación identificada en las imágenes satelitales, al valor del mareógrafo o a la cota de marca de agua máxima.

Datos necesarios: estimaciones cuantitativas de nivel medio del mar para el horizonte de tiempo considerado en el punto de interés.

Evaluación de susceptibilidad a la amenaza: se elabora un mapa con el aumento del nivel del mar únicamente para los horizontes de tiempo adecuados para el proyecto, luego se agrega la cota de aumento de nivel del mar al mapa de susceptibilidad y se muestra la susceptibilidad adicional asociada al aumento del nivel del mar.

Datos necesarios: estimaciones cuantitativas o cualitativas de nivel medio del mar para el horizonte de tiempo considerado en el punto de interés.

Sequía y ola de calor



Sequía significa deficiencia de precipitaciones durante un periodo de tiempo prolongado (en general una o más estaciones) que ocasiona escasez de agua para alguna actividad, grupo o sector ambiental (National Drought Mitigation Center, 2018). Es difícil definir este concepto porque las regiones experimentan impactos según distintos niveles de sequía; una región árida está acostumbrada a las precipitaciones escasas mientras que las regiones húmedas están acostumbradas a grandes cantidades de precipitaciones. Las sequías pueden entonces definirse también según la aplicación. Las sequías meteorológicas se centran en distintos aspectos de déficit de agua que las sequías agrícolas o hidrológicas. La sequía meteorológica se centra en la ocurrencia de patrones de clima seco en una zona. La sequía agrícola ocurre cuando no hay suficiente contenido de agua en los suelos para satisfacer la demanda de los cultivos y considera la evapotranspiración del suelo y de los cultivos. La sequía hidrológica se centra en la presencia de caudales fluviales y niveles de aguas subterráneas y en reservorios perceptiblemente bajos.

La ola de calor puede caracterizarse como una desviación térmica por sobre el promedio local o como una desviación por encima del percentil 95 de las temperaturas diarias observadas durante un periodo de tres días o más. Algunas olas de calor se definen por la combinación de temperatura y humedad para indicar que el control de la temperatura corporal puede dificultarse (por ej., cuando el índice de calor supera la temperatura cutánea del ser humano). Existen numerosas definiciones pero dependiendo de la ubicación geográfica y la problemática enfrentada se deben realizar selecciones específicas.

A continuación se analizan tres dimensiones del análisis de amenazas para el caso de amenazas por sequía y ola de calor.

- *Extensión espacial:* Estas amenazas tienen una influencia más regional, por lo que su extensión suele ser mayor que la de las amenazas más locales como los deslizamientos de tierra o las inundaciones.
- *Intensidad:* La intensidad de una ola de calor puede caracterizarse por la desviación en grados con respecto a la temperatura correspondiente a la situación normal. En el trópico, una desviación de 2 grados con respecto a lo normal constituiría una ola de calor. La intensidad de una sequía puede caracterizarse por las cantidades de precipitación. Además, en el caso de la amenaza por sequía, también suele utilizarse índices para representar la intensidad. El índice de severidad de sequía de Palmer (PDSI, por sus siglas en inglés) mide tanto la humedad (valores positivos) como la sequía (valores negativos) del ambiente, con base en el concepto de oferta y demanda de la ecuación de balance hídrico. Este índice incorpora precipitación acumulada en los últimos meses, suministro de humedad, escorrentía y demanda por evaporación a nivel de la superficie. El índice de precipitación estandarizado (SPI, por sus siglas en inglés) se basa exclusivamente en la precipitación y en sus anomalías acumuladas que, en una región, se traducen en recursos de agua, es decir, humedad del suelo, agua subterránea, manto de nieve, caudal de ríos y agua acumulada en reservorios. La escala de tiempo según la cual se acumulan los déficits de agua es extremadamente importante en este índice pero no se recomienda utilizarlo si se desea considerar los impactos del cambio climático debido a que no toma en cuenta la evapotranspiración. El índice que incluye evapotranspiración es el índice de precipitación-evapotranspiración estandarizado (SPEI, por sus siglas en inglés) que amplía el SPI, basado en precipitación, para capturar mejor la pérdida de humedad del suelo. Al igual que todos los índices de

sequía que utilizan la evapotranspiración, el índice SPEI es muy sensible a la selección de función utilizada, que determina su sensibilidad a los cambios de temperatura. Aun así, no está claro qué formulación es más adecuada para uso global o en regiones específicas.

- *Frecuencia:* La probabilidad suele estimarse estadísticamente con base en eventos previos en la región. Estas dos amenazas suelen ser regionales, por lo que se requerirán datos para la región.

A continuación se ofrecen detalles sobre la aplicación de los tres métodos de evaluación de amenazas (probabilista, determinista y de susceptibilidad). El Apéndice D presenta modelos específicos.

Evaluación probabilista de la amenaza: el enfoque probabilista no es comúnmente utilizado para representar las olas de calor; en su lugar, se suelen utilizar los enfoques deterministas y de susceptibilidad. Históricamente el uso de marcos probabilistas para la evaluación de la amenaza por sequía ha sido infrecuente, principalmente debido a la complejidad de las sequías, lo cual las diferencia de otras amenazas mejor conocidas. No obstante, en los últimos años los investigadores han comenzado a desarrollar y adaptar enfoques probabilistas que pueden funcionar para la sequía. El enfoque propuesto por Bernal y otros, (2017) para aplicar un marco de riesgo totalmente probabilista para esta amenaza representa uno de los enfoques más completos debido a que mantiene la complejidad técnica de la modelación de sequías (sequías agrícolas) y la incorpora a un entorno de riesgo probabilista robusto que permite la obtención de todas las medidas de riesgo probabilistas habituales. La Figura 6.13 presenta un resumen de la evaluación probabilista de amenazas propuesta (véase Bernal y otros, 2017 para conocer más detalles).

Figura 6.13. Pasos principales de la evaluación totalmente probabilista de la amenaza por sequía

1. Se recogen series cronológicas históricas de precipitación (diaria) y temperatura (mínima, media y máxima) recurriendo a dispositivos de medición locales (o procedentes de datos obtenidos por teleobservación a falta de datos locales).
2. Se aplica un análisis de probabilidad a la serie cronológica asignando distribuciones de probabilidades a cada variable en cada estación local y para cada día del año. Estas distribuciones se utilizan luego para simular nuevas series cronológicas que incluyen eventos que no necesariamente ya han ocurrido. Se aplican procedimientos de autocorrelación temporal y correlación espacial para evitar cambios abruptos en variables temporales y espaciales.
3. Se utilizan índices para identificar condiciones fuera de la norma y definir la duración y severidad del evento de sequía. Se seleccionan y prueban diversos índices de sequía (ver índices ya mencionados) para determinar el más adecuado para la zona de estudio (se realiza una adecuación estadística de los parámetros del índice computados con la distribución de probabilidades teórica del índice). Si los índices seleccionados incluyen evapotranspiración, se calcula esta variable adicional. Además se establece una escala temporal que define el periodo de tiempo durante el cual las variables climáticas se acumulan antes del momento del cálculo del índice. El índice seleccionado se calcula para la serie cronológica estocástica.
4. Al crear escenarios de la amenaza los eventos de sequía se definen como eventos simultáneos y continuos de déficit de precipitación y temperaturas elevadas representados por un valor inferior a un umbral definido del índice de sequía seleccionado. Cada evento de sequía tiene su duración y severidad. La severidad de un evento de sequía se define luego como el valor del índice acumulado durante el evento (área bajo la curva del índice del evento). Es posible calcular una medida adicional dividiendo la severidad por la duración y obtener una unidad de medida de la severidad denominada intensidad. Los eventos de sequía se identifican en la serie cronológica para cada estación y luego se identifican aquellos que ocurren simultáneamente en diversas estaciones para hallar eventos de sequía regionales. Estos eventos finales de sequías regionales (que tienen una frecuencia de ocurrencia asociada calculada a partir del tiempo total simulado) constituyen escenarios de sequía que integran el módulo de amenaza por sequía.

Los datos de entrada requeridos incluyen: series cronológicas de variables climáticas y de suelos que incluyen temperatura, precipitación, suministro de humedad, escorrentía y evapotranspiración.

Evaluación determinista de la amenaza: En ocasiones no se cuenta con los datos de entrada detallados que el modelo requiere sobre características de suelo, nubosidad, velocidades del viento, etc., y es necesario adoptar otros enfoques para identificar la amenaza. Los índices SPI y SPEI ofrecen estimaciones relativamente simples basadas en datos climáticos de fácil acceso. Los modelos descritos anteriormente para la evaluación probabilista de amenaza pueden ser utilizados para modelar un caso pesimista, si hay datos disponibles, o bien se pueden utilizar los índices para modelar el evento. En muchos casos el evento puede tomar toda la región; esto puede no obstante ser útil si tu proyecto abarca una región geográfica extensa. CLIMDEX (Environment Canada <http://www.cccma.ec.gc.ca/data/climdex/climdex.shtml>) ofrece un listado de índices que recogen diversos aspectos de características de precipitaciones y temperatura e incluyen información sobre días secos consecutivos. Los cambios en la disponibilidad de agua total pueden analizarse según diversos niveles de complejidad.

Para realizar un análisis de mapeo de eventos pasados, se debe verificar si se han elaborado mapas de eventos previos. En algunos casos los registros sobre los anillos en los troncos de los árboles ofrecen datos sobre la ocurrencia, duración e intensidad de las sequías ocurridas en el pasado.

Los datos de entrada necesarios incluyen: series cronológicas o índices de variables climáticas y del suelo (con relación al suceso modelado) o características de la amenaza de cada evento histórico incluyendo cobertura del suelo, ubicación e intensidad (para el análisis de mapeo de sucesos pasados).

Evaluación de susceptibilidad a la amenaza: Este enfoque consiste en desarrollar un mapa de susceptibilidad (mapa de índice de sequía) utilizando diferentes datos que incluyen temperatura, precipitación, contenido de humedad, escorrentía y evaporación, fuentes de agua, superficies oscuras (en el caso de ola de calor) y sucesos previos. Estas áreas designadas no están asociadas a un intervalo de periodo de retorno.

Los datos de entrada requeridos incluyen eventos previos debidos a la amenaza natural, superficies oscuras y recursos de aguas.

Recuadro 6.3. Consejos para la selección del método de evaluación de la amenaza por sequía

Para realizar un análisis con respecto a un grupo o portafolio de activos en un área extensa donde puede ser difícil analizar cada uno en detalle y no se requiere capturar especificaciones y efectos locales, entonces un enfoque totalmente probabilista puede ser más apropiado. Si ya existe una evaluación probabilista para el área de estudio, se la debe utilizar.

Si el área de estudio está expuesta a estas amenazas, el tipo de proyecto es vulnerable a ellas (un proyecto de agricultura, por ejemplo) y se requiere un nivel alto de detalle, entonces puede resultar más apropiado un enfoque probabilista simplificado o determinista. Es importante conocer qué componentes del proyecto son susceptibles a estas amenazas. Estos enfoques proveerán un análisis de amenaza más detallado. Si la recurrencia de la amenaza juega un papel importante, se debe utilizar un enfoque probabilista simplificado. De lo contrario, si la recurrencia de la amenaza no es importante, se debe utilizar un enfoque determinista.

Algunos de estos modelos de sequía requieren gran cantidad de datos que pueden no estar disponibles para la región. Si los datos necesarios para realizar una evaluación totalmente probabilista o probabilista simplificada no se encuentran disponibles, se debe considerar pasar a un enfoque determinista que implica recrear un evento histórico o un escenario pesimista. La información provista por el análisis determinista también puede utilizarse para lograr apropiación por parte de las partes interesadas locales. Se puede considerar mostrar este análisis determinista para influenciar la decisión de dónde emplazar el proyecto. Este tipo de análisis es más fácil de comprender para quienes no son técnicos. El análisis determinista puede utilizarse en conjunto con un análisis probabilista para ayudar a las personas a entender ambas perspectivas.

Los mapas de susceptibilidad son adecuados para identificar poblaciones y edificios e infraestructura no pertenecientes al proyecto que son susceptibles y poder determinar los impactos en la comunidad.

Análisis histórico de línea de tiempo: La última opción, que se aplica únicamente al sector agrícola, es el método simple utilizado en el documento *Agricultural Sector Risk Assessment: Methodological Guidance for Practitioners* desarrollado por el Banco Mundial (2016). Dentro de este enfoque del riesgo, el componente de amenaza es tratado implícitamente mediante la construcción de una línea de tiempo de sucesos ocurridos en el pasado. Esta línea de tiempo de sucesos ocurridos en el pasado debido a amenazas naturales debe construirse para el periodo de tiempo más extenso posible (y coincidir con el periodo de la línea de tiempo de producción agrícola) y debe incluir únicamente eventos de sequía u ola de calor para determinar las pérdidas anuales promedio debido a esta amenaza. No obstante, también puede realizarse una evaluación de riesgo multiamenaza, en cuyo caso todos los tipos de amenaza hidrometeorológica (inundaciones, temperaturas extremas, huracanes) pueden incluirse en la línea de tiempo. Para obtener más detalles sobre el cálculo de riesgo, consulta la evaluación simplificada de riesgo agrícola en la sección **Análisis histórico de línea de tiempo bajo el resumen de métodos de cálculo del riesgo**.

Integración del cambio climático en la modelación de sequía y ola de calor

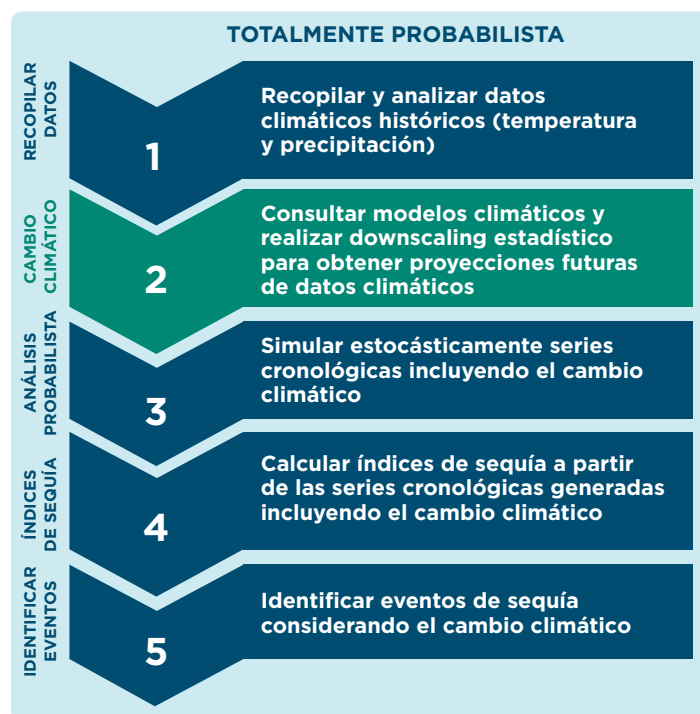
Es aconsejable establecer un conjunto crítico de criterios para cada amenaza. Muchos de ellos dependerán de la aplicación o de las vulnerabilidades sociales o ecológicas de la región. ¿Qué temperaturas y duración se consideran ola de calor? ¿Cuánta falta de precipitaciones durante cuánto tiempo constituye una sequía? Estos umbrales son importantes al integrar el cambio climático en los modelos. Una vez establecidos los criterios, se podrá utilizar modelos climáticos para predecir la frecuencia con la que ocurrirá la amenaza en el futuro.

La amenaza por ola de calor se relaciona de forma directa con cambios en la temperatura atmosférica extrema y en la humedad (resumidos por el índice de calor). Las amenazas por sequía y escasez de agua se vinculan con el balance hídrico general de la zona y por ello tienen una relación menos directa con las predicciones de los MCG.

A continuación presentamos consideraciones específicas sobre los tres métodos de evaluación de amenazas.

Evaluación probabilista de la amenaza: La evaluación probabilista del riesgo por sequía propuesta por Bernal y otros (2017) presentada anteriormente permite una incorporación integral de los efectos del cambio climático mediante la realización de downscaling estadístico para obtener proyecciones futuras para el área de estudio y la posterior aplicación de cambios directamente en el generador de tiempo meteorológico para obtener series cronológicas simuladas estocásticamente que incorporan el efecto del cambio climático. La Figura 6.14 resume el proceso

Figura 6.14. Pasos principales de la evaluación totalmente probabilista de la amenaza por sequía



Análisis de un evento pasado modelado o un caso pesimista de una evaluación determinista de la amenaza: La probabilidad futura de esta amenaza debe ser determinada observando las tendencias de precipitación (particularmente mensual o estacional), humedad relativa, la probabilidad de número de días secos y las temperaturas promedio y máximas. En el caso de las olas de calor, se debe evaluar la duración de diferentes umbrales

de temperatura y la estacionalidad de su ocurrencia. En el caso de sequía, se debe identificar el cambio esperado en la ocurrencia de días secos consecutivos y/o cambios en el balance hídrico general. Es importante prestar especial atención a la variabilidad: la media de un umbral determinado (por ej., 30 días secos consecutivos) puede ser una combinación de años con secuencias secas breves y años con intervalos secos mucho más prolongados. Si bien CLIMDEX no es una base de datos de proyecciones per se, diferentes bases de datos, como el portal de conocimiento sobre cambio climático del Banco Mundial, Climate Change Knowledge Portal, (<https://climateknowledgeportal.worldbank.org/>) ofrecen indicadores de CLIMDEX aplicados al CMIP5 u otros datos²³. Las futuras probabilidades y magnitudes deben modelarse. También es posible integrar generadores de tiempo meteorológico al enfoque para ofrecer una serie cronológica más extensa.

Datos necesarios: Para las sequías, los datos mensuales suelen ser suficientes, aunque algunas “sequías rápidas” relacionadas con olas de calor pueden imponer amenazas con horizontes temporales más cortos. Las olas de calor requieren datos diarios y en general se necesita conocer las temperaturas mínimas y máximas diarias. La humedad relativa también es útil para los cálculos del índice de calor.

Evaluación de susceptibilidad o análisis de mapeo de un evento pasado de una evaluación determinista de amenazas: Los modelos climáticos deben ser consultados y se debe determinar si se prevé que estas amenazas aumenten en términos de probabilidad y/o frecuencia con el transcurso del tiempo. En caso afirmativo, ésto debe ser anotado en los mapas. En muchos casos la información procedente de resúmenes informativos regionales, como la que brindan los informes del IPCC o Climate Change Knowledge Portal del Banco Mundial (<https://climateknowledgeportal.worldbank.org/>), resulta suficiente para evaluar las consideraciones climáticas para esta amenaza. También pueden

consultarse los resultados de modelos de balance hídrico aplicados a MCG en el sitio de internet del Inter-Sectoral Impact Model Intercomparison Project (ISIMIP) en <https://www.isimip.org/>.

Terremoto



A continuación abordaremos las tres dimensiones del análisis de amenazas para el caso de amenaza sísmica.

- **Extensión:** los terremotos tienen grandes zonas de influencia debido a la escala de las placas tectónicas y fallas; por lo tanto, es importante resaltar que si bien la zona de interés para el análisis puede ser pequeña, las fallas y los límites de las placas que se localizan fuera de dicha zona (al menos a nivel regional) deben ser tenidos en cuenta al modelar la amenaza sísmica.
- **Intensidad:** es importante distinguir entre el principal foco de interés para este documento, que es la intensidad, y la magnitud del terremoto. La magnitud de un terremoto mide la cantidad de energía liberada y se utiliza como una medida de su tamaño. La escala de Richter, también conocida como escala de magnitud local M_L , es la medida de magnitud original, aunque actualmente se prefiere la medida de magnitud de momento M_w . La intensidad, por otra parte, mide el movimiento del suelo que puede generar un terremoto de determinada magnitud. La intensidad es por lo tanto el valor de la aceleración del suelo, la velocidad o el desplazamiento percibido en un lugar²⁴. Además, la intensidad (y no la magnitud) de un terremoto se relaciona directamente con el nivel de daños que puede ocasionar. La variable más comúnmente utilizada para representar

²³ Al ingresar al portal, comienza por seleccionar un país o una región, selecciona “Climate Data”, luego “Projections”, y luego utiliza el menú desplegable situado debajo de “Variables” para abrir la lista de indicadores y seleccionar los deseados.

²⁴ Un terremoto de cierta magnitud genera diferentes intensidades que se perciben en distintos lugares, por ejemplo, la aceleración (intensidad) percibida en un lugar situado a 30 km del hipocentro del terremoto con M_w 6 es mucho mayor que la aceleración (intensidad) percibida debido al mismo terremoto en otro lugar situado a 100 km del hipocentro.

la intensidad de un terremoto es la aceleración del suelo en cm/s^2 (también denominada *gal*) o expresada como una fracción de gravedad (por ej., 0,2 g); más específicamente valores de Aceleración Máxima del Suelo (PGA, por sus siglas en inglés) y Aceleración Espectral (aceleración percibida por diferentes periodos de vibración o estructurales 0,3 s o 1,0 s). También se utiliza la Velocidad Máxima del Suelo (PGV, por sus siglas en inglés) y el Desplazamiento Máximo del Suelo (PGD, por sus siglas en inglés).

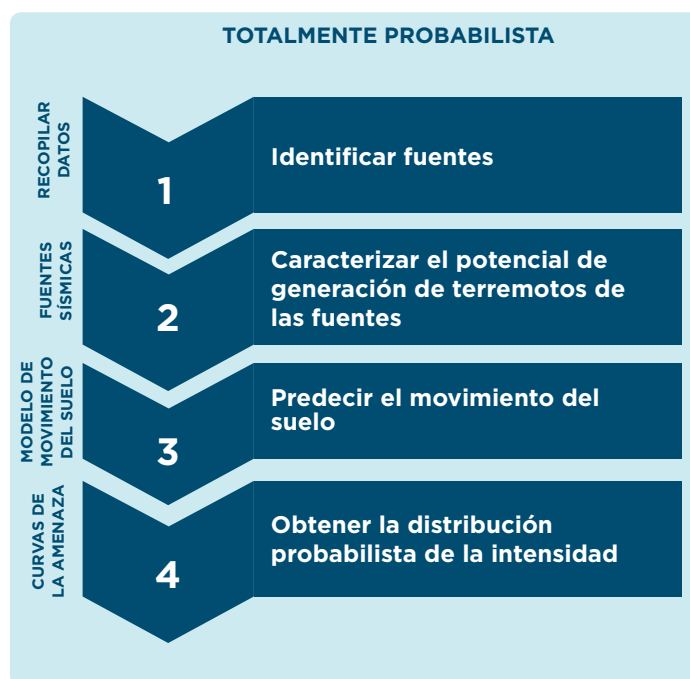
- **Frecuencia:** la frecuencia de ocurrencia de terremotos de diferentes magnitudes para fuentes sísmicas y la frecuencia de ocurrencia de niveles de intensidad en ubicaciones determinadas son características clave. Un gráfico de la magnitud de un terremoto en función de la tasa anual de ocurrencia, o Gráfico de Recurrencia de Magnitudes, muestra la propensión de una fuente a generar terremotos pequeños y grandes y se utiliza para caracterizar fuentes individuales. Además existe la curva de amenaza, que es un gráfico de la intensidad (por ej., la PGA) versus la tasa de excedencia anual, que se utiliza en las evaluaciones probabilistas para representar los niveles de intensidad resultantes considerando todos los terremotos posibles.

A continuación se ofrecen detalles sobre la aplicación de los tres métodos de evaluación de amenazas (probabilista, determinista y de susceptibilidad).

Evaluación probabilista de amenazas: En el campo de la ingeniería sísmica el método estándar es el totalmente probabilista (incluso tiene su propio nombre, Evaluación Probabilista de la Amenaza Sísmica o PSHA por sus siglas en inglés). Originalmente propuesta por Cornell (1968), ha sido ampliamente utilizada durante muchos años en todo el mundo para construir los modelos oficiales utilizados por países e instituciones internacionales (incluido el Consejo del Código Internacional - ICC, por su siglas en inglés - y su Código Inter-

nacional de la Construcción - IBC por sus siglas en inglés; para obtener más información, ingresa a <https://www.iccsafe.org/codes-tech-support/codes/2018-i-codes/ibc/>) para su inclusión en los códigos de construcción. A diferencia de los enfoques para escenarios específicos, la evaluación probabilista de la amenaza sísmica considera el aporte de todas las fuentes sísmicas y todos los eventos potenciales correspondientes que pueden afectar a una determinada zona de interés. En términos generales, la evaluación probabilista de la amenaza sísmica requiere de los siguientes cuatro pasos (véase la Figura 6.15); véase Baker (2008) para conocer más detalles.

Figura 6.15. Evaluación totalmente probabilista de la amenaza sísmica



1. Se identifica las fuentes: todas las fuentes sísmicas con capacidad de generar terremotos dañinos deben identificarse. Es importante tener en cuenta que una fuente es una entidad modelada que puede generar terremotos y, como tal, puede representar fallas individuales o grupos de fallas (como líneas o planos), fuentes puntuales o zonas más grandes (por ej., planos) como zonas de subducción o zonas de fondo (zonas con escasa actividad no fácilmente atribuible a

una geometría o ubicación específica). Se suele consultar datos geográficos de placas tectónicas y fallas activas para facilitar la identificación.

2. Se caracteriza el potencial de generación de terremotos de cada fuente: los gráficos de recurrencia de magnitud se utilizan para caracterizar fuentes en términos de la tasa (anual) de ocurrencia de terremotos de distintas magnitudes. Se utiliza un catálogo de todos los terremotos pasados para asignar subconjuntos de eventos a fuentes individuales y luego se aplican análisis estadísticos (suelen utilizarse el modelo de sismicidad de Poisson y la relación Gutenberg-Richter, véase Cornell, 1968) para obtener gráficos para cada fuente.
3. Se modela la distribución de probabilidades de la intensidad del temblor como una función de la magnitud y la distancia: las ecuaciones de predicción de movimiento del suelo o GMPE, por sus siglas en inglés, también denominadas relaciones de atenuación, describen la forma en que las ondas sísmicas son atenuadas a medida que viajan por la corteza terrestre y por lo tanto ofrecen estimaciones de la intensidad resultante (aceleración, velocidad o desplazamiento que experimenta el suelo) percibida a causa de un terremoto de cierta magnitud, a diferentes distancias del hipocentro del terremoto. Además, describen la función de densidad de probabilidad del movimiento del suelo dadas las propiedades de la fuente del terremoto (magnitud, tipo de falla), la propagación de onda (distancia) y la respuesta del lugar donde está emplazado el proyecto. En la mayoría de los casos se supone que el movimiento del suelo sigue una distribución lognormal y la ecuación de movimiento del suelo da como resultado el movimiento medio del suelo y la desviación estándar en unidades logarítmicas. La bibliografía científica ofrece un amplio menú de ecuaciones de predicción de movimiento del suelo que pueden utilizarse y los investigadores en general ya han desarrollado estas relaciones para países o configuraciones tectónicas específicas.
4. Se aplica la teoría de la probabilidad (Teorema de la probabilidad total y el supuesto de que la in-

tensidad sigue una distribución lognormal) para combinar matemáticamente la recurrencia de la magnitud de terremotos, la ubicación geográfica y las características de atenuación de todas las fuentes para obtener una distribución de intensidades en la zona de interés (curvas de amenaza).

Es fundamental que el análisis probabilista de la amenaza sísmica incluya los efectos del tipo de suelo en el lugar de emplazamiento del proyecto, debido a que el tipo de suelo se relaciona con los factores de amplificación para la aceleración máxima del suelo (PGA), la velocidad máxima del suelo (PGV) y la aceleración espectral. Esto puede hacerse de dos formas. La primera consiste en incluir clases de suelo directamente en el tercer paso de la evaluación probabilista de amenaza sísmica preseleccionando las clases de suelo (en general se utiliza la clasificación que propone el sitio de NEHRP, véase BSSC, 2004) para la zona de interés y utilizando ecuaciones de predicción de movimiento del suelo que incluyan esas clases. La segunda consiste en utilizar estudios de microzonificación locales donde se evalúan los 30 metros superiores de geología y se determina el perfil de velocidad de onda de corte de los suelos, a partir de lo cual pueden obtenerse factores de amplificación que pueden aplicarse a los resultados de una evaluación probabilista de amenaza sísmica a nivel de roca.

Un análisis probabilista simplificado consiste en utilizar mapas de amenaza integrada existentes y leer directamente la intensidad o intensidades correspondientes a la zona de interés para algunos periodos de retorno seleccionados. Estos mapas pueden ser los mapas de la amenaza correspondientes al movimiento de suelo de diseño (en general corresponden al mapa de la amenaza con un periodo de retorno de 475 años) o mapas con periodos de retorno de 1.000 o 2.500 años.

Evaluación determinista de la amenaza: En los análisis deterministas se modela o recrea y analiza un único evento o escenario. Esto supone seleccionar un único o un par de eventos individuales que pueden ser terremotos ocurridos en el pasado, un terremoto de diseño o un terremoto máximo (caso pesimista).

Para realizar un análisis de un evento pasado, se verifica la existencia de datos de eventos ocurridos en el pasado cerca del lugar de emplazamiento del proyecto. En ocasiones las universidades y otras organizaciones desarrollan mapas de aceleración del suelo (shakemaps) luego de un evento sísmico (United States Geological Survey – USGS – tiene un catálogo de terremotos y un portal donde se informan y analizan eventos de todo el mundo e incluye siempre shakemaps; ingresa a <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/> o <https://prod-earthquake.cr.usgs.gov/earthquakes/map/>).

El análisis de un caso pesimista consiste en modelar la física de un terremoto estimando las características de un escenario pesimista en términos de magnitud (por ej., MW 7), ubicación (fuente sísmica específica, longitud y latitud), mecanismo y profundidad (profundidad del hipocentro), y aplicar un modelo físico.

Evaluación de susceptibilidad a la amenaza: El último enfoque consiste en desarrollar un mapa de susceptibilidad utilizando datos de suelos, líneas

de fallas y datos históricos sobre terremotos. Estas áreas designadas no están asociadas a un intervalo de periodo de retorno. Este enfoque es particularmente útil para las evaluaciones de licuefacción, ya que no se las suele modelar de forma probabilista. La susceptibilidad a licuefacción puede identificarse utilizando mapas geológicos de la zona identificando en general la edad, el ambiente deposicional y tipo de material de una unidad geológica cartografiada específica. Con base en estas características se puede asignar una calificación de susceptibilidad a licuefacción relativa. Se considera que las zonas cartografiadas de materiales geológicos como roca o similares no presentan amenazas por licuefacción. Luego puede utilizarse las relaciones entre licuefacción y aceleración máxima horizontal del suelo para determinar el valor del movimiento del terreno local.

El Apéndice D detalla programas de software específicos para ejecutar modelos. El Recuadro 6.4 presenta una guía para ayudar a determinar qué enfoque es el más adecuado dependiendo de las circunstancias.

Recuadro 6.4. Consejos para la selección del método de evaluación de amenaza sísmica

Para realizar un análisis con respecto a un grupo o portafolio de activos en un área extensa donde puede ser difícil analizar cada uno en detalle y no se requiere capturar especificaciones y efectos locales, entonces puede ser más apropiado un enfoque totalmente probabilista. Si ya existe una evaluación probabilista para el área de estudio, se la debe utilizar. Si los datos necesarios para realizar la evaluación totalmente probabilista no están disponibles, se debe determinar si existen reglamentos constructivos locales relacionados con diseño sísmico (es posible que se deba recurrir a un ingeniero para que oriente en el diseño) y utilizar mapas de diseño para un enfoque probabilista simplificado.

Si se está diseñando o rehabilitando infraestructura una zona sísmica alta y se requiere un nivel alto de detalle, un enfoque probabilista simplificado o determinista puede ser más apropiado. Es importante conocer qué componentes del proyecto están expuestos a suelos blandos o sueltos y a licuefacción. Estos enfoques proveerán un análisis de amenaza más detallado. Si la recurrencia de la amenaza juega un papel importante, se debe utilizar un enfoque probabilista simplificado. De lo contrario, si la recurrencia de la amenaza no es importante, se debe utilizar un enfoque determinista.

La información sobre la amenaza también puede utilizarse para lograr apropiación por parte de las partes interesadas locales. Se puede considerar mostrarles un análisis determinista de un evento pasado o de un escenario pesimista para influenciar la decisión sobre el emplazamiento del proyecto. Este tipo de análisis es más fácil de comprender para quienes no son técnicos. El análisis determinista puede utilizarse en conjunto con un análisis probabilista para ayudar a las personas a entender ambas perspectivas.

Los mapas de susceptibilidad son adecuados para identificar poblaciones y edificios e infraestructura no pertenecientes al proyecto que son susceptibles y poder determinar los impactos en la comunidad.

Viento huracanado



A continuación abordaremos las tres dimensiones del análisis de amenazas para el caso de viento huracanado.

- **Extensión espacial:** las tormentas tropicales y los huracanes tienen extensas zonas de influencia debido a la escala del fenómeno; por lo tanto, es importante destacar que si bien la zona de interés para el análisis puede ser pequeña y no necesariamente situada en la costa, es preciso tener en cuenta la ubicación de la zona situada en las cuencas del Caribe y del Pacífico (a nivel regional).
- **Intensidad:** velocidad del viento.
- **Frecuencia:** igual que en el caso de marea de tormenta (ver la sección específica más arriba), los vientos huracanados también tienen periodos de retorno asociados (promedio de la frecuencia con la que pueden ocurrir). En este caso, las intensidades pequeñas ocurren con gran frecuencia y las intensidades grandes en forma muy esporádica. En general, los ingenieros utilizan valores de velocidad del viento con periodos de retorno específicos para diseñar infraestructura. Además existe la curva de amenaza, que es un gráfico de la intensidad (por ej., velocidad del viento) como función de la tasa de excedencia anual, que se utiliza en las evaluaciones totalmente probabilistas para representar los niveles de intensidad resultantes considerando todos los eventos posibles.

A continuación se ofrecen detalles sobre la aplicación de los tres métodos de evaluación de la amenaza (probabilista, determinista y de susceptibilidad). El Apéndice D presenta modelos específicos.

Evaluación probabilista de la amenaza: Para un enfoque totalmente probabilista y al igual que en el caso específico de marea de tormenta (ya descrito), además del modelo de viento, se debe utilizar un modelo de tormenta tropical o huracán como el foco generador de los fenómenos de huracanes. Para ello puede utilizarse el método aplicado por CIMNE y otros (2015) para el Global Assessment Report 2015 (GAR 15). Este método comienza utilizando un conjunto de huracanes históricos para el cual cada evento individual es perturbado para generar una familia de eventos “hijos” asociados. La velocidad del viento (en términos de velocidad máxima del viento de ráfagas de 3 segundos) luego se computa para cada evento nuevo generado y los resultados se utilizan para calcular la distribución de probabilidades de la intensidad de la amenaza (que se modela con una distribución Gama). Consulta CIMNE y otros (2015) para conocer más detalles.

En resumen, los siguientes son los componentes clave para desarrollar un modelo de viento huracanado de una evaluación totalmente probabilista.

- **Modelo de simulación de trayectoria de huracanes.** La simulación matemática de huracanes, como la descrita anteriormente por CIMNE y otros (2015), es el enfoque más aceptado para estimar las velocidades de viento para diseñar estructuras y evaluar el riesgo por huracanes. El enfoque básico en todos los estudios de simulación de huracanes publicados hasta la fecha coincide en que primero se obtienen las estadísticas específicas del lugar con respecto a los parámetros clave de los huracanes (incluida la diferencia de la presión central (D_p), el parámetro de perfil de presión Holland (B), el radio de vientos máximos (R_{max}), dirección (Q), velocidad de traslación (c) y la posición de cruce de la costa o distancia de aproximación máxima (d_{min})). Debido a que las distribuciones estadísticas de estos parámetros clave de los huracanes se conocen a partir de datos históricos, puede utilizarse el enfoque de Monte Carlo para muestrear valores de cada una de las distribuciones mencionadas y una representación matemática de un huracán es pasada por la tra-

yectoria en línea recta, satisfaciendo los datos muestreados, mientras se registran las velocidades de viento simuladas. La intensidad del huracán se mantiene constante hasta que toca tierra, después de lo cual el huracán es disipado utilizando modelos de coeficiente de llenado. El modelo de simulación de trayectoria de tormentas se inicia seleccionando aleatoriamente una posición inicial, fecha, hora, dirección y velocidad de traslación de una de las tormentas tropicales de los registros históricos.

- *Modelo del campo de viento del huracán.* Un componente crítico en la simulación de huracanes es una adecuada representación del campo de viento del huracán dada la información sobre intensidad de la tormenta, tamaño y velocidad de traslación. El modelo de campo de viento de huracanes tiene dos componentes. El primer componente es campo de flujo medio total que describe los vientos en niveles superiores y el segundo es el modelo de capa de contorno utilizado para calcular velocidades de viento en la superficie de la tierra, dadas las velocidades de vientos en el nivel superior.

El modelo de campo de flujo medio resuelve las ecuaciones no lineales completas de movimiento de un huracán en proceso de traslación y luego las parametriza para su uso en simulaciones rápidas. La utilización de una solución totalmente numérica para las ecuaciones de movimiento de huracanes permite la modelación de asimetrías en la tormenta que se originan como resultado de la compleja interacción de las fuerzas de fricción y los vientos que varían durante toda la tormenta. Pueden producirse velocidades de viento muy altas alrededor de la pared del ojo en algunas tormentas pequeñas e intensas. La utilización de modelos empíricos simples para definir el huracán no permite reproducir estos efectos.

El modelo de capa de contorno del huracán se desarrolla utilizando una combinación de perfiles de velocidad calculados utilizando datos procedentes de una sonda de caída y un modelo de capa de contorno de un huracán teórico.

El modelo de capa de contorno de huracán incorpora variación logarítmica cuadrática combinada de la velocidad media de vientos con velocidad utilizada para replicar la altura del jet del nivel inferior observado en la capa de contorno del huracán. Esto permite una representación más realista de las velocidades del viento cerca de la superficie y mejores estimaciones del efecto de la interface mar-tierra en la reducción de la velocidad del viento cerca de la costa.

- *Rugosidad de la superficie.* Un componente crítico en la modelación de los efectos del viento (daños y pérdidas de edificios e instalaciones) es la evaluación y modelación de la rugosidad del suelo. A mayor rugosidad del suelo, las velocidades del viento cerca del suelo disminuyen aunque la velocidad del viento en el nivel superior permanece sin cambios. Las cargas de viento experimentadas por las estructuras situadas en un entorno típico periurbano, arbolado o urbano son mucho menores que las experimentadas por edificios en regiones relativamente despejadas, como las situadas frente al mar o en campo abierto. Las cargas de viento experimentadas por estructuras de uno o dos pisos situadas en áreas forestadas pueden ser tan bajas como la mitad de las experimentadas por estructuras similares situadas en un entorno abierto.

El efecto de la rugosidad de la superficie es tratado de forma simple en los códigos y normas de construcción utilizando categorías de exposición. Por ejemplo, los terrenos abiertos y los suburbanos se designan con categoría de Exposición C y B, respectivamente, en la séptima versión del documento Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures de la American Society of Civil Engineers (ASCE-7). El enfoque adoptado en la mayoría de las normas internacionales es definir una velocidad de viento de base, que representa la velocidad del viento a una altura de 10 m en terreno abierto. El efecto del terreno local se toma en cuenta modificando la velocidad de esa velocidad de viento por un factor

que está dado por la categoría de exposición del terreno local. Esta tabla está incluida en el Apéndice D.

- **Modelos de escombros arrastrados por el viento:** Una parte significativa de los daños en las estructuras asociados a vientos huracanados son provocados por escombros arrastrados por el viento que impactan sobre los edificios dañando su exterior, incluidos techos, ventanas, puertas y otras aberturas. Existen diferentes modelos para los escombros dependiendo del tipo de ambiente, es decir, residencial versus comercial e industrial. Los modelos residenciales incluyen árboles y techos dañados, mientras que los modelos comerciales pueden incluir grava hallada en techos de instalaciones comerciales.

Para la evaluación probabilista simplificada, y cuando no se puede desarrollar modelos físicos debido a limitaciones con respecto a los datos o recursos, los modelos estadísticos se pueden utilizar para evaluar datos observados como velocidades de viento y presiones centrales. Estos modelos suelen utilizarse para evaluar extremos o picos para determinar la distribución de frecuencias de las velocidades de viento. Los resultados de estos modelos pueden utilizarse para generar velocidades de viento asociadas con un intervalo de periodo de retorno específico.

Los datos de entrada incluyen: series cronológicas sobre velocidades de viento (junto con diferencias de presión central (D_p), parámetros de perfil de presión Holland (B), radio de vientos máximos (R_{max}), direcciones (Q) y velocidades de traslación (c)), en particular ráfagas máximas, intensidad de la tormenta, tamaño, velocidad de traslación y datos sobre cobertura del suelo.

Evaluación determinista de la amenaza: Para realizar un análisis de modelación o mapeo de eventos pasados, se debe verificar si existen datos sobre vientos cerca del lugar de emplazamiento del proyecto con respecto a un evento en particular. En ocasiones las universidades y otras organizaciones desarrollan mapas de velocidades de viento luego de ocurrido un evento.

Los datos de entrada necesarios incluyen: detalles sobre velocidades de viento, intensidad de tormenta, tamaño, velocidad de traslación de un suceso, datos sobre cobertura del suelo, mapa de ubicaciones geográficas donde se presentaron las velocidades de viento máximas en el suceso en particular.

Evaluación de susceptibilidad a la amenaza: Este enfoque consiste en desarrollar un mapa de susceptibilidad utilizando la distancia desde la costa y creando *buffers* desde las trayectorias históricas de los huracanes (<https://oceanservice.noaa.gov/news/historical-hurricanes/>). Estas áreas designadas no están asociadas a un intervalo de periodo de retorno.

Los datos de entrada necesarios incluyen: distancia desde la costa y trayectorias históricas de huracanes.

Análisis histórico de línea de tiempo: La última opción, que se aplica únicamente al sector agrícola, es el método simple utilizado en el documento *Agricultural Sector Risk Assessment: Methodological Guidance for Practitioners* desarrollado por el Banco Mundial (2016). Dentro de este enfoque del riesgo, el componente de amenaza es tratado implícitamente mediante la construcción de una línea de tiempo de sucesos ocurridos en el pasado. Esta línea de tiempo de sucesos ocurridos en el pasado debido a amenazas naturales debe construirse para el periodo de tiempo más extenso posible (y debe coincidir con el de la línea de tiempo de producción agrícola) e incluir únicamente eventos de huracanes para determinar las pérdidas anuales promedio debido a esta amenaza. No obstante, también puede realizarse una evaluación de riesgo multiamenaza, en cuyo caso todos los tipos de amenazas hidrometeorológicas (sequías, temperaturas extremas, inundaciones) pueden incluirse en la línea de tiempo. Para obtener más detalles sobre cálculo de riesgo, consulta la evaluación simplificada de riesgo agrícola en la sección **Análisis histórico de línea de tiempo bajo el resumen de métodos de cálculo del riesgo**.

Recuadro 6.5. Consejos para la selección del método de evaluación de amenaza por viento huracanado

Para realizar un análisis con respecto a un grupo o portafolio de activos en un área extensa donde puede ser difícil analizar cada uno en detalle y no se requiere capturar especificaciones y efectos locales, entonces puede ser más apropiado un enfoque totalmente probabilista. Si ya existe una evaluación probabilista para el área de estudio, se la debe utilizar. Si los datos necesarios para realizar la evaluación totalmente probabilista no están disponibles, se debe determinar si existen reglamentos constructivos locales que incluyan mapas de diseño frente al viento (es posible que se deba recurrir a un ingeniero para que oriente en el diseño) para un enfoque probabilista simplificado.

Si se está diseñando o rehabilitando infraestructura una zona costera y se requiere un nivel alto de detalle, un enfoque probabilista simplificado o determinista puede ser más apropiado. Es importante conocer qué componentes del proyecto están expuestos a altas velocidades de viento y la magnitud de esos vientos. Estos enfoques proveerán un análisis de amenaza más detallado. Si la recurrencia de la amenaza juega un papel importante, se debe utilizar un enfoque probabilista simplificado. De lo contrario, si la recurrencia de la amenaza no es importante, se debe utilizar un enfoque determinista.

Algunos modelos de viento huracanado requieren gran cantidad de datos que pueden no estar disponibles para la región. Si los datos necesarios para realizar una evaluación totalmente probabilista o probabilista simplificado no están disponibles, un ingeniero debe estudiar los huracanes históricos e identificar la velocidad del viento de diseño adecuada para implementar un enfoque determinista. La información del análisis determinista también puede utilizarse para lograr apropiación por parte de las partes interesadas locales. Se pueden considerar mostrarles un análisis determinista de un suceso pasado o de un escenario pesimista para informar la decisión sobre el emplazamiento del proyecto. Este tipo de análisis es más fácil de comprender para quienes no son técnicos. El análisis determinista puede utilizarse en conjunto con un análisis probabilista para ayudar a las personas a entender ambas perspectivas.

Los mapas de susceptibilidad son adecuados para identificar poblaciones y edificios e infraestructura no pertenecientes al proyecto que son susceptibles y poder determinar los impactos en la comunidad.

Integración del cambio climático en el modelado de la velocidad de viento huracanado

Hacia fines del siglo XXI, el cambio climático probablemente cause que los ciclones tropicales en todo el mundo sean más intensos en promedio (de un 2 a un 11 por ciento según las proyecciones de modelos para un escenario de mediano rango del IPCC) (NOAA GFDL, 2018). Este cambio implicará un aumento porcentual aún mayor en el potencial destructivo de cada tormenta, sin suponer una reducción en el tamaño de la tormenta. Hay altas probabilidades de que el calentamiento a causa de actividades antropogénicas durante el próximo siglo ocasione un aumento en la ocurrencia de ciclones tropicales muy intensos en todo el mundo; un incremento que sería sustancialmente mayor en términos porcentuales que el aumento del 2 al 11 por ciento en la intensidad promedio de las tormentas. Este aumento en la ocurrencia de tormentas intensas se proyecta a pesar de la probable disminución (o cambio leve) en los números globales de todos los ciclones tropicales. No obstante, actualmente no se cree que dicho aumento

en las tormentas muy intensas vaya a ocurrir en la cuenca del Atlántico. Además, en este momento no existen herramientas confiables para predecir cambios en áreas geográficas específicas. Por este motivo se utiliza un factor de seguridad.

La ocurrencia de vientos huracanados no se asocia únicamente a la fuerza de la tormenta sino que refleja también posibles cambios en la distribución espacial de la ocurrencia y en la velocidad del movimiento de los huracanes. Existen también indicios acerca de que las mayores temperaturas de la superficie marina han dado lugar a una ampliación de las regiones donde puede preverse que se desarrollen y/u ocurran huracanes. Se prevé que los huracanes prevalezcan por más tiempo y alcancen latitudes más altas, aunque la magnitud depende de la región. El movimiento de los huracanes es importante porque incluso los huracanes de menor intensidad que permanecen en una región por más tiempo pueden tener efectos o impactos similares a los de eventos más intensos. No obstante, por el momento, no existen indicios robustos acerca de que la velocidad vaya a modificarse sistemáticamente.

Por último, un elemento adicional de los impactos de los ciclones tropicales en una región es la lluvia. Como ya se analizó en el caso de las inundaciones, las robustas proyecciones acerca de un mayor calentamiento en todo el mundo indicarían un posible aumento en la cantidad de precipitaciones. La relación Clausius-Clapeyron ofrece una estimación de hasta un 7% de aumento en la capacidad de retención de agua por grado Celsius de calentamiento. Por lo tanto se prevé un aumento sustancial en las lluvias asociadas a huracanes.

A continuación presentamos consideraciones específicas sobre los tres métodos de evaluación de amenazas.

Evaluación probabilista o evaluación determinista de la amenaza: Para un enfoque probabilista resultan útiles las simulaciones que utilizan modelos dinámicos con ubicaciones geográficas levemente perturbadas de eventos observados (véase, por ejemplo, Tropical Cyclone Risk Model de Australia Geoscience). Este enfoque cubre con mayor fidelidad la extensión espacial más allá de las angostas trayectorias observadas. Se debe considerar adoptar un enfoque conservador e incrementar la intensidad y la probabilidad en un 11%, y contemplar una posible expansión espacial del dominio con ciclos tropicales hacia los polos de alrededor de 50-100 km por década. Si la modelación no es posible, los resultados de las simulaciones pueden consultarse en forma de productos como la amenaza de viento ciclónico del periodo de retorno de 100 años (Vigh, 2018).

Si se considera el riesgo de ciclones tropicales en una zona justo fuera de la de ocurrencia histórica de estas tormentas, puede resultar útil contemplar una ampliación espacial del dominio con eventos esperados en el futuro, en especial hacia finales del siglo XXI. Las estimaciones de expansión hacia los polos van de 20 a casi 100 km por década.

Datos necesarios: información homogeneizada de trayectoria e intensidad de ciclones tropicales (por ej., IBTrACS: <https://www.ncdc.noaa.gov/ibtracs/>)

Evaluación de susceptibilidad a la amenaza: Se debe agregar un margen de amortiguación o

buffer a las áreas delineadas: Delinea las áreas de vientos fuertes (155 km/h o más).

Deslizamiento de tierra



Couture (2011) describe el concepto de amenaza por deslizamiento de tierra como “la división de la tierra en áreas o dominios relativamente homogéneos y su clasificación según los grados de susceptibilidad, amenaza o riesgo real o potencial con respecto a deslizamientos de tierra o por la aplicabilidad de ciertas regulaciones relacionadas con el deslizamiento de tierra.” Se han desarrollado numerosos enfoques para el mapeo de la amenaza por deslizamiento de tierra, como los mapas basados en inventarios, enfoques heurísticos, evaluaciones probabilistas, evaluaciones deterministas, análisis estadísticos y enfoques de toma de decisiones basadas en múltiples criterios. La mayoría de estos modelos crean zonas de amenaza que dividen las áreas mediante una clasificación. El Apéndice D presenta softwares específicos.

A continuación abordamos las tres dimensiones del análisis de amenazas para el caso de amenaza por deslizamiento de tierra.

- *Extensión espacial:* los deslizamientos de tierra casi por definición son eventos locales y, como tales, tienen extensiones espaciales más pequeñas o limitadas en comparación con otras amenazas, como los terremotos e incluso las inundaciones.
- *Intensidad:* Volumen de escombros.
- *Frecuencia:* La probabilidad suele estimarse estadísticamente con base en eventos previos en la región.

A continuación se ofrecen detalles sobre la aplicación de los tres métodos de evaluación de amenazas (probabilista, determinista y de susceptibilidad).

Evaluación probabilista de la amenaza: La evaluación probabilista de amenaza por deslizamiento de tierra ayuda a determinar la probabilidad espacial, temporal y de tamaño del deslizamiento de tierra (Guzzetti y otros, 2005b). El enfoque totalmente probabilista de simular eventos estocásticos es poco usual para esta amenaza por su complejidad. Por el contrario, son más adecuados los métodos probabilistas simplificados de mapeo de deslizamientos de tierra, que son menos complejos. En el enfoque probabilista simplificado para la identificación de deslizamientos de tierra, su distribución espacial se compara con diversas variables explicativas (con pesos asignados) en un marco probabilista (Kanugo y otros 2009). Incluye probabilidad bayesiana, factor de certeza, función de favorabilidad, etc. El grado de relación entre cada capa temática de datos con la distribución de los deslizamientos de tierra se transforma en un valor basado en una función de distribución de probabilidades. Este enfoque es cuantitativo pero existe cierto grado de subjetividad en el procedimiento de asignación de pesos (Kanugo y otros 2009). Esto puede complementarse acoplando un modelo de detonantes por lluvias y terremotos para representar la amenaza de forma adecuada.

Modelo de umbral de lluvias: El umbral de lluvias con relación al deslizamiento de tierras se refiere a la intensidad o duración mínima de lluvias necesaria para causar un deslizamiento de tierra (Varnes y IAEG 1984). Los parámetros más comúnmente utilizados para diseñar el umbral de lluvias son lluvias acumuladas, lluvias antecedentes, intensidad de lluvias y duración de lluvias. El modelo de umbral crítico de lluvias (Qcr) se basa en las propiedades del suelo, el ángulo de la pendiente, drenaje pendiente arriba, densidad aparente del suelo húmedo y densidad del agua. Numerosos estudios sobre evaluaciones de susceptibilidad al deslizamiento de tierras han utilizado el Qcr para predecir deslizamientos de tierra. El umbral de lluvias disminuye con el aumento en la acumulación estacional y se vuelve constante a 11 mm/día (Gabet y otros 2004). Véase Cardona y otros (2017a) para conocer detalles sobre la aplicación a los deslizamientos de tierra del modelo de factor detonante lluvia.

Modelo de factor detonante por terremoto: Este modelo utiliza un detonante por aceleración crítica definido como la aceleración mínima del suelo (causada por un terremoto) que causaría un deslizamiento de tierra (Newmark, 1965). La aceleración crítica es una función del factor de seguridad (FS) y como tal se transforma en otra característica inherente de una pendiente, independiente de un evento sísmico determinado; sería la susceptibilidad sísmica a los deslizamientos de tierra (Jibson y otros, 1998 y 2000). Para determinar el FS pueden aplicarse técnicas tradicionales como el Análisis de talud infinito. La aceleración crítica luego es utilizada en conjunto con un modelo probabilista de terremotos (véase sección específica más arriba) para computar la probabilidad de superar la aceleración crítica y, en última instancia, la probabilidad de deslizamientos de tierra. Véase Cardona y otros (2017a) para conocer detalles sobre la aplicación a los deslizamientos de tierra del modelo de factor detonante terremoto.

Los datos de entrada necesarios incluyen: estadísticas sobre frecuencia-volumen, modelos de elevación digital (DEM, por sus siglas en inglés), suelos, cobertura del suelo, ángulo de la pendiente y los datos de entrada específicos de los modelos del factor detonante terremoto ya analizados (series cronológicas de precipitaciones, temblores).

Evaluación determinista de la amenaza: El modelo de factor detonante por lluvia y por terremoto pueden aplicarse tanto a las evaluaciones probabilistas como deterministas de la amenaza. Para la evaluación determinista de la amenaza, puede escogerse escenarios o eventos individuales para representar, por ejemplo, un evento extremo de lluvia o terremoto, y se los analiza junto con los demás parámetros que incluyen pendiente, propiedades del suelo, propiedades de drenaje, etc.

Los datos de entrada necesarios incluyen: ubicaciones geográficas de deslizamientos de tierra previos, DEM, propiedades del suelo, cobertura del suelo, series cronológicas de precipitaciones, saturación de agua, ángulo de la pendiente, drenaje pendiente arriba, densidad aparente del suelo húmedo, temblor del suelo.

Evaluación de susceptibilidad a la amenaza: Los enfoques probabilistas y deterministas no se implementan habitualmente para evaluar la amenaza por deslizamiento de tierra ya que requieren de gran cantidad de datos y modelos complejos. Los modelos de susceptibilidad, debido a que solucionan este problema, son de amplio uso en este terreno. Aquí describiremos tres enfoques para desarrollar evaluaciones de susceptibilidad: métodos con fundamento físico, métodos estadísticos y métodos de inventario.

Métodos de análisis de susceptibilidad con fundamento físico. Estos métodos con fundamento físico describen los procesos físicos que dan lugar al evento de deslizamiento de tierra y se basan en simples leyes de mecánica. Estos modelos dan cuenta de la respuesta de la pendiente en términos del agua subterránea transitoria ante la lluvia. Estos modelos no requieren de datos sobre deslizamiento de tierra para extensos periodos de tiempo y por ello también pueden utilizarse para zonas con inventarios de deslizamiento de tierra incompletos (Kuriakose 2010).

Métodos estadísticos (de dos variables y de múltiples variables). El análisis estadístico de dos variables para la identificación de amenaza por deslizamiento de tierra compara cada capa de datos de factores causantes con la distribución de deslizamientos de tierra existente (Kanungo y otros 2009). Se asignan pesos a los factores causantes de los deslizamientos de tierra con base en la densidad del deslizamiento de tierra. Como ejemplos de métodos estadísticos de dos variables utilizados en el mapeo de deslizamientos se puede citar el enfoque de análisis de frecuencia, el modelo de valor de la información (IVM, por sus siglas en inglés), el modelo de pesos de evidencia, el modelo de superposición ponderada, entre otros. El análisis estadístico de múltiples variables para la amenaza por deslizamiento considera el aporte relativo de cada capa de datos temática con respecto a la susceptibilidad total a deslizamiento de tierra (Kanungo y otros 2009). Estos métodos calculan el porcentaje de la superficie del deslizamiento de tierra por cada píxel y ausencia de deslizamiento de tierra. Se produce una capa de datos de pre-

sencia de deslizamiento de tierra y luego se aplica el método estadístico de múltiples variables para reclasificar la amenaza para el área dada. Entre los métodos comúnmente utilizados para el mapeo de deslizamientos de tierra se encuentran el modelo de regresión logística, el análisis de discriminantes, los modelos de regresión múltiple y las redes neurales artificiales (ANN, por sus siglas en inglés).

Método de distribución (inventario). El modelo de distribución (inventario) es uno de los enfoques más simples para elaborar mapas de deslizamiento de tierra. También se lo denomina “inventario de deslizamientos de tierra”. En este análisis, se elaboran mapas de inventario de deslizamientos de tierra que muestran patrones espaciales y temporales de la distribución de los deslizamientos, tipo de movimiento, velocidad de movimiento, tipo de material desplazado (tierra, escombros o roca), etc. Los datos sobre deslizamientos se obtienen mediante mapas de agrimensura, registros históricos, imágenes satelitales e interpretación de fotografías aéreas. Los mapas de distribución y densidad de deslizamientos constituyen la base para la aplicación de otros métodos de susceptibilidad a deslizamientos de tierra.

Los datos de entrada necesarios incluyen: ángulo de la pendiente, aspecto y morfometría, litología y uso del suelo, deslizamientos de tierra históricos, relieve relativo, cobertura del suelo y condiciones hidrológicas, entre otros.

Consideraciones sobre cambio climático con relación a los deslizamientos de tierra

Otro aspecto a tener en cuenta será el horizonte temporal. El horizonte temporal significa cuán a futuro necesitarás planificar. Se debe verificar la vida útil de tu proyecto (Paso 2) para determinar qué horizonte temporal se deberá considerar.

La ocurrencia de deslizamientos de tierra en el futuro se verá afectada por las mayores intensidades de precipitaciones. Si bien las precipitaciones medias para una región pueden no modificarse de forma significativa, el rango superior de la distribución, y en particular los extremos, pueden aumentar

Recuadro 6.6. Consejos para la selección del método de evaluación de la amenaza por deslizamiento de tierra

La amenaza por deslizamiento de tierra es diferente a muchas de las otras amenazas. Muy pocas zonas tienen estadísticas de frecuencia-volumen para generar un modelo probabilista. No obstante, si existe un análisis probabilista, se lo debe utilizar. Por otra parte, existe gran cantidad de modelos diferentes para producir un mapa de susceptibilidad y pueden ser muy sofisticados y requerir gran cantidad de datos. También es posible que se requiera de una visita al sitio del proyecto para verificar algunos de los datos; en ocasiones los DEM tienen una resolución muy gruesa y pueden sobreestimar o subestimar la amenaza. Como mínimo es necesario evaluar la pendiente, los suelos y la cobertura del suelo para determinar la susceptibilidad. Si el proyecto debe construirse al pie de una montaña o en una pendiente, se debe seleccionar un modelo de susceptibilidad mejor.

La información sobre la amenaza también puede utilizarse para lograr apropiación por parte de las partes interesadas locales. Se puede considerar mostrarles un análisis determinista de un evento pasado o de un escenario pesimista, que será más fácil de comprender para quienes no son técnicos. El análisis determinista puede utilizarse en conjunto con un análisis probabilista o de susceptibilidad para ayudar a las personas a entender ambas perspectivas.

Los mapas de susceptibilidad son adecuados para identificar poblaciones y edificios e infraestructura no pertenecientes al proyecto que son susceptibles y poder determinar los impactos en la comunidad.

de forma notoria. La relación Clausius-Clapeyron sugiere que este aumento podría llegar al 7% por grado Celsius de calentamiento en el caso de los eventos más grandes (IPCC, 2007). Al mismo tiempo, los cambios en el uso del suelo por parte de los humanos afectan los índices de infiltración de agua y, por lo tanto, la estabilidad de las pendientes. Es posible que se requiera de una cuidadosa consideración de ambos factores para determinar la amenaza futura por deslizamiento de tierra de forma adecuada.

Los métodos de evaluación de deslizamiento de tierra suelen combinar información sobre pendiente, suelos, cobertura del suelo y condiciones hidrológicas. Las consideraciones climáticas generalmente abordan únicamente los cambios en las condiciones hidrológicas, si bien pueden incluirse los impactos secundarios en la cobertura del suelo debido al cambio climático. Se trata de cambios en la vegetación que influyen en las velocidades de infiltración.

En general, se deben actualizar los factores de precipitación e hidrológicos con base en los modelos de cambio climático y actualizar la cobertura del suelo de acuerdo al modo en que se prevé que crezca la zona dentro del horizonte temporal considerado. Las características de lluvias extremas suelen ser difíciles de leer a partir de modelos climáticos globales y es por ello que resultan más úti-

les los datos de escala regional basados en series diarias. Es importante recordar que la downscaling estadístico se basa en buenas observaciones, y los diferentes métodos tienen diferentes capacidades para representar los extremos de forma adecuada. Por lo tanto, se debe realizar una validación de las series con respecto a los mejores datos observacionales disponibles antes de aplicar información sobre cambio climático para determinar el riesgo de cambio climático futuro.

A continuación presentamos consideraciones específicas sobre los tres métodos de evaluación de amenazas.

Evaluación probabilista de la amenaza: La metodología de evaluación de la amenaza debe documentar si incorpora información sobre humedad del suelo o eventos extremos de precipitaciones y, en caso afirmativo, cómo lo hace. Si el método incorpora eventos extremos de precipitaciones, consulta el análisis sobre precipitaciones incluido en la sección de *Inundación por desbordamiento de ríos e inundación urbana* más adelante. Si el método incorpora el balance de humedad del suelo, obtén información cualitativa sobre probables cambios en la humedad del suelo.

Evaluación determinista y evaluación de susceptibilidad: En general, se puede obtener una evaluación cualitativa de probables cambios en la hume-

dad del suelo mediante una revisión de resúmenes de información regional como los incluidos en los informes del IPCC o en el portal del Banco Mundial Climate Change Knowledge Portal (<http://sdwebx.worldbank.org/climateportal>). No obstante, el peligro reside en que estas fuentes brindan información climatológica promedio (sobre tendencias generales) y pasan por alto la frecuencia e intensidad de los años húmedos en los que podrían originarse deslizamientos de tierra. Esto es de particular importancia ya que se espera que los eventos de lluvias más extremos aumenten y en consecuencia las condiciones para los deslizamientos de tierra pueden desencadenarse con mayor facilidad. También pueden encontrarse resultados de modelos de balance hídrico aplicados a MCG en el Inter-Sectoral Impact Model Intercomparison Project (ISIMIP) en <https://www.isimip.org/>.

Inundación por desbordamiento de ríos e inundación urbana



Las inundaciones por desbordamiento de ríos y las inundaciones urbanas surgen por la interacción de la superficie del terreno, la red de drenaje y eventos de precipitaciones extremos. Los análisis de amenaza por inundaciones suelen basarse en análisis de eventos extremos de precipitaciones y una herramienta (por ej., modelo hidráulico) para convertir precipitación en profundidad de la inundación. Los análisis de amenaza por inundaciones también pueden basarse directamente en los registros tomados por caudalímetro. A continuación se analizan las tres dimensiones del análisis de amenazas para el caso de amenaza por inundación.

- *Extensión espacial:* en el caso de la inundación por desbordamiento de ríos la extensión de la inundación se origina en el canal principal del río desde donde el agua desborda hacia las márgenes y terreno plano situado más allá de las márgenes. En el caso de la inundación urbana, la extensión procede de precipitaciones locali-

zadas directamente sobre la ciudad y depende de la topografía urbana, como así también de la ubicación o de las zonas impermeables y en las características de drenaje de la ciudad.

- *Intensidad:* la intensidad de la amenaza por inundación se suele medir en términos de altura del agua (inundación) en metros sobre el suelo y/o velocidad de flujo.
- *Frecuencia:* las inundaciones también tienen periodos de retorno asociados (promedio de la frecuencia con la que pueden ocurrir). En este caso, las intensidades pequeñas ocurren con gran frecuencia y las intensidades grandes en forma muy esporádica. En general, los ingenieros utilizan valores de descarga de agua con periodos de retorno específicos para diseñar infraestructura. Además existe la curva de amenaza que es un gráfico de la intensidad (por ej., altura del agua) versus la tasa de excedencia anual, que se utiliza en las evaluaciones totalmente probabilistas para representar los niveles de intensidad resultantes considerando todos los eventos de inundación posibles.

A continuación se ofrecen detalles sobre la aplicación de los tres métodos de evaluación de amenazas (probabilista, determinista y de susceptibilidad).

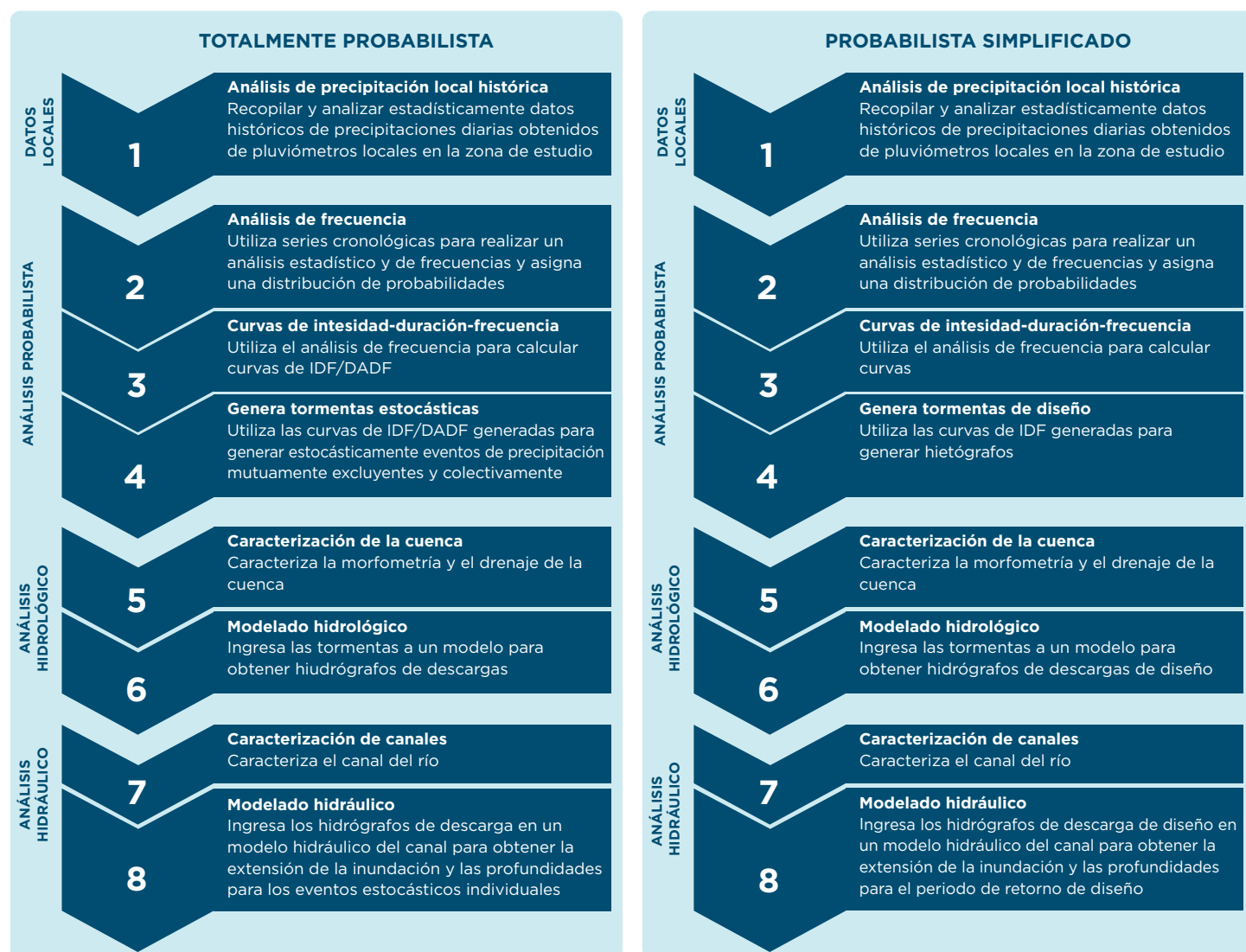
Evaluación probabilista de la amenaza: En una evaluación probabilista de la amenaza, se aplican análisis probabilistas y estadísticos a los datos hidrológicos (en general precipitación, aunque en ocasiones descarga o caudal) para modelar la frecuencia o recurrencia de valores de precipitación o caudal que luego se utilizan para modelar la inundación. La Figura 6.16 muestra el proceso básico implementado tanto para el enfoque totalmente probabilista como para el probabilista simplificado. Estos dos enfoques son muy similares en general pero difieren en el tratamiento probabilista de la posterior modelación hidrológica e hidráulica. En el primer caso (totalmente probabilista), se generan estocásticamente múltiples eventos de inundación (decenas o cientos de eventos mutuamente excluyentes y colectivamente exhaustivos) que cubren el rango total de posibilidades

(incluyen eventos recurrentes pequeños y eventos grandes pero inusuales) y estos eventos individuales se utilizan para dañar activos expuestos en una evaluación de riesgo. Por otra parte, en el segundo caso (probabilista simplificado), se modela un número reducido de escenarios (en general 5 o menos, y ya no son eventos individuales) para representar intensidades de inundación con un periodo de retorno asociado y estos escenarios de amenaza “integrados” son utilizados para dañar activos expuestos en una evaluación de amenazas. Se debe tener en cuenta que solo el primer enfoque permite calcular la curva de excedencia de pérdidas completa utilizada para calcular las pérdidas máximas probables (además de la pérdida anual promedio), mientras que el segundo enfoque sólo permite calcular la pérdida anual promedio direc-

tamente y las CEP y PMP de manera aproximada a través de extrapolaciones y bajo la suposición de que el periodo de retorno de la amenaza es el mismo que el de la pérdida.

Análisis probabilista e hidrológico: Los análisis hidrológicos simulan procesos hidrológicos naturales como precipitaciones, humedad del suelo, infiltración, exfiltración, transpiración y almacenamiento para estimar y dirigir las descargas de cuencas o sistemas de captación urbanos. Estos análisis se suelen utilizar con precipitaciones observadas o pronosticadas (pluviómetros y radares) para generar descargas para tormentas de diseño y frecuencias de inundaciones utilizando diversas condiciones de humedad del suelo, lluvias y cobertura de nieve para predecir inundaciones urbanas

Figura 6.16. Proceso probabilista básico para modelar la amenaza por inundación



y respuestas de los ríos. Se aplican análisis estadísticos a los datos (lluvia o caudal) para evaluar extremos o picos para determinar la distribución de frecuencias de lluvias o caudales. Esto se utiliza para evaluar eventos de lluvia con frecuencias específicas.

Los eventos extremos en ocasiones son difíciles de determinar cuando la cantidad de años de datos es insuficiente (menos de 30 años). Para superar este problema se puede recurrir a un modelo estocástico de tiempo meteorológico, también conocido como generador de tiempo meteorológico, para simular periodos de tiempo más extensos e identificar los eventos extremos. Existen dos tipos básicos de generadores estocásticos de tiempo meteorológico: tipo “Richardson” (Richardson 1981; Richardson y Wright 1984) y tipo “serial” (Racsko y otros 1991; Semenov y otros 1998). Ambos tipos de generadores de tiempo meteorológico requieren de una calibración inicial basada en datos observados en estaciones meteorológicas.

En el generador de tiempo meteorológico de tipo Richardson (por ej., WGEN) la ocurrencia de precipitaciones se modela utilizando un procedimiento Markov de primer orden con dos estados, que describe dos clases de precipitación (es decir, húmeda o seca) y toma en consideración la ocurrencia de precipitaciones únicamente en el día anterior. Los modelos más complejos pueden incluir más de una clase de precipitación, como así también la ocurrencia de precipitaciones cierta cantidad de días antes del día actual, en lugar de únicamente el día anterior. Una de las principales críticas que se les hace a los generadores de tiempo meteorológico tipo Richardson es que no son capaces de describir de forma adecuada la duración de las series secas o húmedas.

El generador de tiempo meteorológico de tipo serial fue desarrollado para intentar superar los problemas identificados en el generador de tipo

Richardson. El primer paso del proceso consiste en modelar la secuencia de series de días secos y húmedos. La cantidad de precipitación y las restantes variables climáticas son luego generadas dependiendo de las series húmedas o secas. El generador de tiempo meteorológico de tipo serial es de acceso libre.

Análisis hidráulico. Los análisis hidráulicos simulan la mecánica de fluidos del flujo del agua a través de canales naturales o artificiales. Existen al menos cuatro enfoques para modelar la hidráulica: modelos hidráulicos de flujo constante y no constante de una dimensión y modelos hidráulicos de flujo constante y no constante de dos dimensiones. Los modelos de una dimensión asumen que la velocidad y profundidad de los flujos cambia en una única dirección definida (flujos canalizados), por lo que son apropiados para los grandes sistemas fluviales donde la mayoría de los flujos y velocidades se mueven en una dirección predominante. El estado de flujo estable suele utilizarse para simular las extensiones (cotas de inundación y cotas de superficie de agua) de eventos de frecuencia de inundación teóricos²⁵. El estado de flujo no estable suele utilizarse para evaluar eventos de inundación reales o para simular hidrogramas de inundaciones creados por eventos extremos (falla de una represa o dique, inundación máxima probable, etc.)²⁶. Los modelos bidimensionales computan los componentes de velocidad horizontal o bien la magnitud y dirección del vector de velocidad en todo el dominio del modelo y pueden utilizarse para evaluaciones con estado estable o con estado inestable²⁷. Estos modelos suelen utilizarse en sistemas que tienen extensas llanuras de inundación, bajos gradientes, múltiples trayectorias de flujo o sistemas de abanicos aluviales. Por último, se aplican análisis estadísticos a los datos (caudal) para evaluar extremos o picos para determinar la distribución de frecuencias de caudales. Esto se utiliza para evaluar eventos de inundación con frecuencias específicas.

25 El modelo de flujo estable asume una descarga estable a lo largo del tiempo. Dado que no consideran la atenuación de la descarga debido al almacenamiento y a los efectos del tiempo, tienden a calcular cotas de superficie de agua más conservadoras (más altas) que un modelo no estable con igual geometría y parámetros (“n” de Manning, coeficientes, etc.).

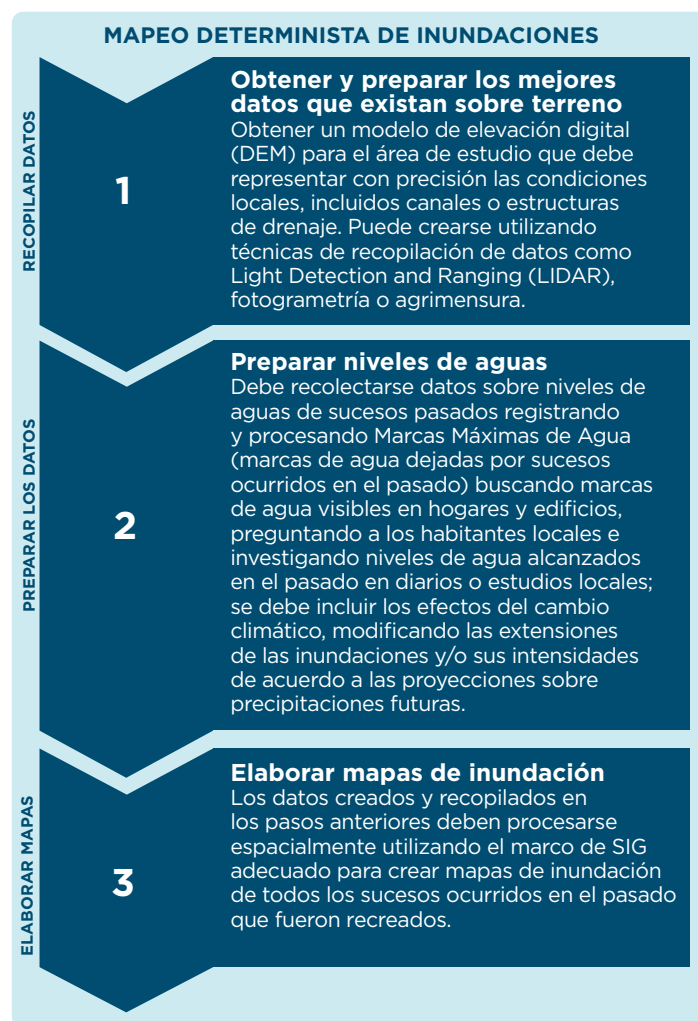
26 Un modelo de flujo no estable conduce el hidrógrafo (o múltiples hidrógrafos) a través del sistema hidráulico utilizando geometría y parámetros (“n” de Manning, coeficientes, etc.). Estos modelos dan cuenta de la atenuación de las descargas y del tiempo de las zonas de drenaje aportantes y convergentes.

27 El análisis anterior sobre modelos de flujo estable y no estable para los modelos de una dimensión también rige para estos modelos.

Los datos de entrada necesarios incluyen: series cronológicas de precipitaciones o caudales, procesos de la cuenca que pueden incluir humedad del suelo, infiltración, exfiltración, transpiración, almacenamiento y precipitación, DEM, datos observados, datos de la geometría de la sección transversal del canal y rugosidad del canal. El Apéndice D presenta softwares específicos.

Evaluación determinista de la amenaza: Para el análisis de mapeo de eventos pasados pueden utilizarse imágenes satelitales para demarcar la extensión de la inundación. Este polígono de inundación puede utilizarse con un modelo de elevación digital (DEM, por sus siglas en inglés) para determinar la profundidad de la inundación. Otra opción consiste en utilizar marcas de inundación que pueden tomarse directamente luego del evento para ayudar a delinear la extensión de la inundación. Nuevamente, esta área de polígono puede utilizarse con un DEM para determinar profundidades. Las marcas de inundación suelen hallarse en árboles, puentes y estructuras directamente después de un evento. La National Oceanic and Atmospheric Administration (Administración Nacional Oceánica y Atmosférica o NOAA, por su siglas en inglés) de Estados Unidos ha estructurado un método simple y una guía para mapeo de inundación que se utiliza como base para un curso sobre Mapeo de inundación costera dictado por NOAA (NOAA, sin fecha) y que también puede aplicarse para inundación por desbordamiento de ríos o inundación urbana. Para conocer detalles sobre este método, consulta Mapping Coastal Inundation Primer de NOAA (NOAA, 2012). Este método consiste en tres pasos, como se muestra en la Figura 6.17.

Figura 6.17. Proceso de mapeo de inundaciones



Para un evento pasado modelado, si el nivel o el flujo del agua fue determinado mediante un fluviómetro, los modelos hidrológicos e hidráulicos descritos anteriormente (para evaluación probabilista de amenazas) pueden utilizarse con valores específicos de nivel de agua y flujo para obtener el área de inundación para el evento individual. Para un caso pesimista modelado, estos modelos pueden ejecutarse con supuestos para los parámetros hidrológicos y rugosidad de la superficie, utilizando batimetría y un DEM más grueso para geometrías de canales para un evento. Se debe consultar a un especialista en modelado de inundación para determinar cuáles son los supuestos adecuados para la región estudiada.

Los datos de entrada necesarios incluyen: para un análisis de mapeo de sucesos pasados, imágenes satelitales de inundaciones y un modelo de elevación digital, valor de medición del flujo o la altura del río y marcas máximas de agua recogidas

como puntos en un mapa. Para eventos pasados y modelados, procesos de cuenca que pueden incluir humedad del suelo, infiltración, exfiltración, transpiración, almacenamiento y precipitación, DEM, datos observados, datos de la geometría de la sección transversal del canal y rugosidad del canal.

Evaluación de susceptibilidad a la amenaza: El último enfoque consiste en desarrollar un mapa de susceptibilidad utilizando un DEM, ubicación del río, suelos (si el dato está disponible) y cobertura del suelo. La llanura de inundación por desborde de un río consiste en general de suelos más blandos que pueden verse en un mapa de suelo, mientras que en el caso de inundación urbana se puede proceder a identificar las áreas impermeables de la ciudad. Las áreas con menor elevación serán más propensas a inundarse y deberán estar designadas en el mapa. Estas áreas designadas no están asociadas a un intervalo de periodo de retorno.

Los datos de entrada necesarios incluyen: DEM, ubicación del río, suelos (si el dato está disponible) y cobertura del suelo para el caso de inundación por desbordamiento de un río, e identificación de áreas impermeables y sistemas de drenaje en el caso de inundación urbana.

Análisis histórico de línea de tiempo: La última opción, que se aplica únicamente al sector agrícola, es el método simple utilizado en el documento *Agricultural Sector Risk Assessment: Methodological Guidance for Practitioners* desarrollado por el Banco Mundial (2016). Dentro de este enfoque del riesgo, el componente de amenaza es tratado implícitamente mediante la construcción de una línea de tiempo de sucesos ocurridos en el pasado. Esta línea de tiempo de sucesos ocurridos en el pasado debido a amenazas naturales debe construirse para el periodo de tiempo más extenso posible (y coincidir con el periodo de la línea de tiempo de producción agrícola) e incluir únicamente eventos de inundación para determinar las pérdidas anuales promedio debido a esta amenaza. No obstante, también puede realizarse una evaluación de riesgo multiamenaza, en cuyo caso todos los tipos de amenazas hidrometeorológicas (sequías, temperaturas extremas, huracanes) pueden incluirse en la línea de tiempo. Para obtener más detalles sobre cálculo de riesgo, consulta la evaluación simplificada de riesgo agrícola en la sección **Análisis histórico de línea de tiempo bajo el resumen de métodos de cálculo del riesgo**.

Recuadro 6.7. Consejos para la selección del método de evaluación de la amenaza de inundación fluvial y urbana

Para realizar un análisis con respecto a un grupo o portafolio de activos en un área extensa donde puede ser difícil analizar cada uno en detalle y no se requiere capturar especificaciones y efectos locales, entonces puede ser más apropiado un enfoque totalmente probabilista. Si ya existe una evaluación probabilista para el área de estudio, se la debe usar aunque puede ser necesario realizar un análisis adicional para determinar cómo el proyecto puede impactar la llanura de inundación. Es importante conocer qué áreas y componentes del proyecto podrían inundarse, y si el proyecto se localiza en un cauce (un área de la llanura de inundación que es efectiva en conducir caudales), éste debería ser movido, si es posible.

Si se está diseñando o rehabilitando infraestructura una zona cerca de un río o en un ambiente urbano y se requiere un nivel alto de detalle, un enfoque probabilista simplificado o determinista puede ser más apropiado. Estos enfoques proveerán un análisis de amenaza más detallado. Si la recurrencia de la amenaza juega un papel importante, se debe utilizar un enfoque probabilista simplificado. De lo contrario, si la recurrencia de la amenaza no es importante, se debe utilizar un enfoque determinista.

Algunos modelos de inundaciones requieren gran cantidad de datos que pueden no estar disponibles para la región. Si los datos necesarios para realizar el análisis totalmente probabilista o probabilista simplificado no están disponibles, se debe determinar si existen expertos en el mapeo de inundaciones y se debe pasar a un enfoque determinista de recrear un evento histórico o escenario pesimista. La información del análisis determinista también puede utilizarse para lograr apropiación por parte de las partes interesadas locales y para influenciar la decisión acerca del emplazamiento del proyecto. Se puede considerar mostrarles un análisis determinista de un evento pasado o de un escenario pesimista, que será más fácil de comprender para quienes no son técnicos. El análisis determinista puede utilizarse en conjunto con un análisis probabilista para ayudar a las personas a entender ambas perspectivas.

Los mapas de susceptibilidad son adecuados para identificar poblaciones y edificios e infraestructura no pertenecientes al proyecto que son susceptibles y poder determinar los impactos en la comunidad.

Consideraciones sobre cambio climático para el caso de inundación por desbordamiento de ríos e inundación urbana

Otro aspecto a tener en cuenta será el horizonte temporal. El horizonte temporal significa cuán a futuro necesitarás planificar. Se debe verificar la vida útil de tu proyecto (Paso 2) para determinar qué horizonte temporal se deberá considerar.

La principal consideración sobre cambio climático en relación con las inundaciones será en general la intensidad de las precipitaciones, su duración y su frecuencia (IDF). Las consideraciones sobre cambio climático que afectan a los modelos hidrológicos, estadísticos e hidráulicos comúnmente utilizados incluyen cambios en las precipitaciones (cantidades, distribución e intensidades), temperaturas, usos del suelo (para determinar características de la escorrentía), evapotranspiración, vegetación y nivel del mar. Estos cambios pueden ser incorporados a los modelos. Los parámetros pueden ser datos que se ingresen directamente a los modelos (precipitaciones, caudales, etc.) o pueden utilizarse para estimar parámetros (por ej., cambio de temperatura en la agricultura y en cambios del uso del suelo).

Los MCG suelen arrojar resultados a escala mensual y a gran escala espacial, lo cual no es directamente pertinente para el modelado de inundaciones. Si existen MGR para la zona del proyecto, utilízalos en lugar de los MCG. No obstante, deberán utilizarse métodos de downscaling para convertir los resultados de los MCG o MCR a una escala temporal diaria y a una escala espacial más localizada. La NASA ofrece proyecciones climáticas globales con downscaling escala diaria en <https://cds.nccs.nasa.gov/nex-gddp/>. Estos productos sujetos a downscaling estadístico deben ser validados con respecto a las condiciones locales, cuando sea posible; esto ocurre en particular en el caso de la porción más extrema de la distribución de valores diarios. El motivo de esta incertidumbre se relaciona con los diferentes métodos utilizados para downscaling, cada uno de los cuales puede res-

ponder a diferentes objetivos. Los generadores de tiempo meteorológico analizados anteriormente pueden utilizarse para hacer exactamente esto: se ingresa los cambios en las probabilidades e intensidades de los extremos como resultado del cambio climático para obtener series cronológicas modificadas de las variables climáticas. Entre los generadores de tiempo meteorológico para downscaling recomendados está el K-vecino más próximo no paramétrico²⁸ (Simonovic y Peck, 2009) o el SDSM²⁹ (Wilby y Dawson, s.f.)

Si existe una limitación con respecto a la utilización de generadores de tiempo meteorológico, la relación Clausius-Clapeyron del 7% de aumento por cada grado Celsius de capacidad “potencial” de retención de agua ofrece una estimación general de cómo los efectos del calentamiento podrían incluirse, aunque los cambios estructurales en los patrones meteorológicos.

A continuación presentamos consideraciones específicas sobre los tres métodos de evaluación de amenazas.

Evaluación probabilista de la amenaza:

1. Se debe alinear el enfoque de análisis del cambio climático con el método para la amenaza por inundación. Los eventos críticos de precipitaciones pueden haber sido determinados de diferentes formas. Si existe monitoreo de precipitaciones de largo plazo y confiable, suficiente para determinar la IDF de las precipitaciones, se puede generar curvas de IDF o PADF (profundidad, área, duración, frecuencia). Sin embargo, esto puede no ocurrir en ciertos lugares, por lo que la hidrología podría determinarse mediante, por ejemplo, la extrapolación de datos de un lugar similar con buenos registros de precipitaciones, a partir de la modelación del clima, o de curvas de IDF generalizadas publicadas para la región. El análisis en condiciones de climático debe guardar lógica con el método subyacente para la evaluación de la amenaza por inundaciones en condiciones actuales.

28 <https://ir.lib.uwo.ca/cgi/viewcontent.cgi?referer=https://www.google.com/&httpsredir=1&article=1027&context=wrrr>

29 <http://www.lboro.ac.uk/departments/sspgs/social-impact/climate-adaptation/>

2. Se debe calcular de qué modo el cambio climático podría afectar la distribución de lluvias, en especial lluvias extremas, y ajusta las curvas de IDF o PADF o periodos de retorno (si bien la precipitación media puede no modificarse demasiado, es muy probable que los extremos de la distribución aumenten). Pueden adoptarse los siguientes enfoques:

- En caso de haber datos y estadísticas detalladas de lluvias junto con resultados de modelos sometidos a downscaling, se debe utilizar métodos estadísticos formales para modificar las series cronológicas históricas para representar proyecciones futuras de cambio climático (como los generadores de tiempo meteorológico para downscaling estadístico ya mencionados) o se debe convertir las curvas de IDF correspondientes al presente (expresadas como la distribución de un valor extremo) en curvas de IDF con respecto al futuro con base en el cambio relativo en los resultados del modelo climático sometidos a downscaling entre el periodo futuro de interés y el hindcast del mismo modelo para décadas recientes. Al aplicar estos cambios, otro factor que puede perturbar las relaciones estadísticas (además de los cambios proyectados en variables como la precipitación) es los cambios en la cuenca y en los canales de escorrentía con el transcurso del tiempo. En general, la construcción de infraestructura hace que aumente la velocidad de la escorrentía y se reduzca la capacidad de infiltración, aumentando así la cantidad de agua que puede provocar una inundación.
- Otro enfoque que puede considerarse es una sustitución de espacio por tiempo. Esta opción es viable si se ha determinado que el clima futuro en el lugar de interés se asemejará al clima actual del lugar para el cual se han desarrollado curvas de IDF.
- Por último, las predicciones de cambios en los eventos extremos de precipitaciones que ofrecen los MCG han sido agrupadas por año y ubicación geográfica por el Equipo de Expertos en Detección e Índices de Cambio Climático per-

teneciente a Environment and Climate Change Canada (Ministerio de Ambiente y Cambio Climático de Canadá) (Sillmann y otros, 2013 a, 2013 b) y presentados como CLIMDEX por dicho ministerio (<http://www.cccma.ec.gc.ca/data/climdex/climdex.shtml>). Estos índices resultan útiles pero es posible que sea necesario aumentarlos mediante análisis estadísticos de valores extremos de los datos diarios subyacentes (suele ser difícil acceder a datos horarios de importancia hidrológica y por lo tanto el objetivo más realista para el análisis podría ser contar con datos diarios).

Independientemente del enfoque, el análisis de cambio debe dar cuenta del tiempo asociado al desarrollo de inundaciones. En el caso de las inundaciones urbanas locales, el análisis puede suponer que el cambio en el riesgo de inundación se relaciona de forma directa con el cambio en precipitaciones diarias o subdiarias. Con respecto a la amenaza por inundación a lo largo de un río importante con un tiempo de concentración grande, el riesgo puede asociarse más estrechamente a totales de precipitaciones multidiarias acumuladas (por ej. 5 días) semanales, mensuales o incluso estacionales.

3. Se debe repetir la evaluación de la amenaza de línea de base (análisis hidrológicos e hidráulicos) utilizando datos de entrada modificados con base en el clima futuro.

Para dar cuenta de la incertidumbre asociada a parámetros afectados por el cambio climático se suele recurrir a un análisis de sensibilidad. Esto implica evaluar el modelo hidrológico utilizando los intervalos de confianza del 10%, 50% y 90% de las variables modeladas afectadas por el cambio climático. Las tendencias modeladas de los parámetros hidrológicos asociados al cambio climático suelen presentar una alta variabilidad entre los intervalos de confianza del 10% al 90%. Por consiguiente, el análisis de sensibilidad del modelo hidrológico reflejará los impactos de esta variabilidad en las respuestas de la cuenca. Para verificar la tendencia resultará útil seleccionar estacio-

nes de observación y comparar las tendencias reales de los datos registrados con las tendencias modeladas previamente. Por lo tanto, el modelo hidrológico puede utilizarse para evaluar modelos del cambio climático previos con observaciones reales. Es importante comparar los procesos reales con los modelados y el hindcasting (comparar modelos de cambio climático previos con datos observados) ofrece información valiosa sobre líneas de tendencias y su veracidad. Es importante debido a que los múltiples modelos de cambio climático producen múltiples resultados con respecto a la misma cuenca.

Las consideraciones sobre el cambio climático son incorporadas a los modelos hidráulicos mediante modelado hidrológico (y estadístico), tal como se analizó antes. Numerosas comunidades elaboran un conjunto de mapas/análisis de las condiciones presentes y múltiples escenarios futuros. Esto permite una implementación por etapas (utilizando fechas o plazos proyectados) y un enfoque de gestión adaptativa con relación a las medidas de mitigación. Esto les brinda a las comunidades afectadas una herramienta de apoyo para tomar decisiones sobre la elección del nivel adecuado de protección o de la medida de mitigación adecuada dependiendo de la vida útil y ubicación del activo.

Datos necesarios: estadísticas o series cronológicas proyectadas futuras de precipitaciones y/o escorrentía para los eventos críticos máximos.

La Figura 6.18 resume cómo se encuadra esto dentro del proceso de evaluación probabilista de la amenaza.

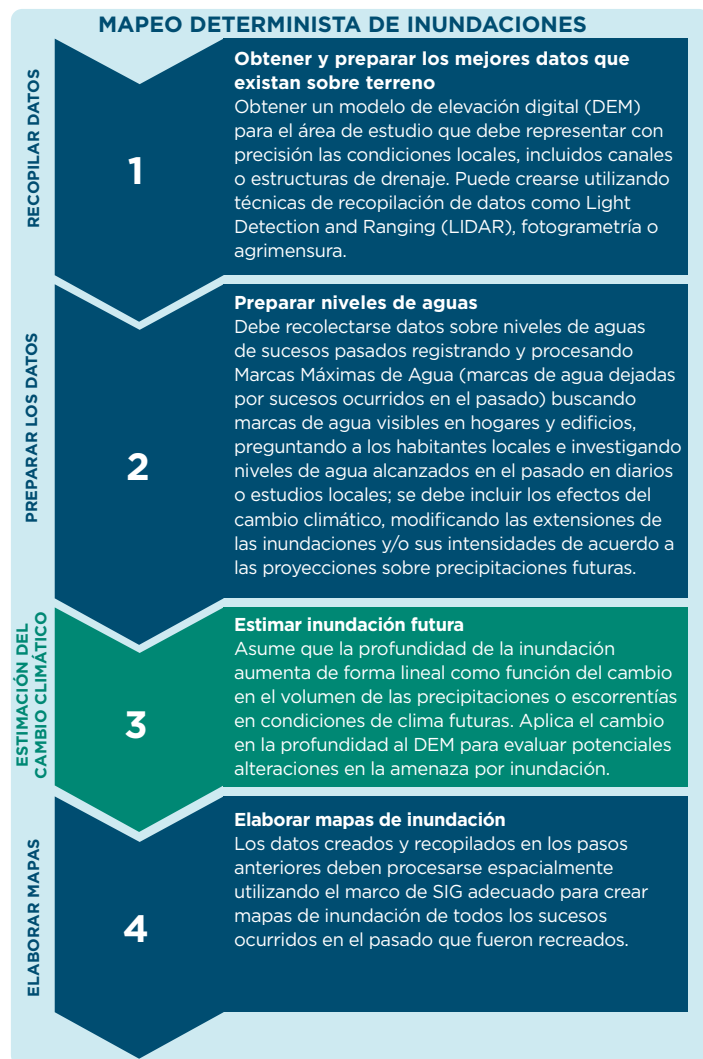
Evaluación determinista de la amenaza: Para un evento modelado (pasado o caso pesimista), aplican las mismas consideraciones que en el caso de la evaluación probabilista de la amenaza pero alineadas y limitadas a las simplificaciones y supuestos del método de evaluación de la amenaza. Para el análisis de mapeo de un evento pasado, se agrega un *buffer* a las áreas delineadas con base en las cantidades de precipitaciones futuras y des-

pues de consultar con expertos locales en inundaciones. Se asume que la profundidad de la inundación aumenta linealmente como una función del cambio en las precipitaciones o en el volumen de la escorrentía en las condiciones de clima futuro. Se aplican los cambios en la profundidad al DEM para evaluar posibles alteraciones en la amenaza por inundación. La Figura 6.19 muestra cómo se encuadra esto en el proceso de mapeo de inundaciones.

Datos necesarios: Cambios en el volumen futuro de las precipitaciones, en especial con respecto a eventos extremos de lluvia.

Figura 6.18. Modelación probabilista de inundaciones incorporando el cambio climático

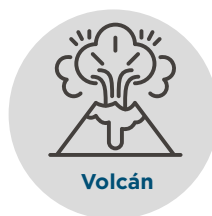
Figura 6.19. Mapeo de inundaciones incorporando el cambio climático



Evaluación de susceptibilidad a la amenaza: Se agrega un *buffer* a las áreas delineadas con base en las cantidades de precipitaciones futuras y después de consultar con expertos locales en inundaciones. Se asume que la profundidad de la inundación aumenta linealmente como una función del cambio en las precipitaciones o en el volumen de la escorrentía en las condiciones del clima futuro. Se aplican los cambios en la profundidad al DEM para evaluar posibles alteraciones en la amenaza por inundación.

Datos necesarios: Cambios en el volumen futuro de las precipitaciones, en especial con respecto a eventos extremos de lluvia.

Volcán



A continuación se analizan las tres dimensiones del análisis de amenazas para el caso de amenaza volcánica.

- **Extensión espacial:** la amenaza volcánica puede constituir un evento tanto local como regional. Por ejemplo, los flujos de lava o lahares tienden a tener extensiones espaciales más pequeñas o limitadas si los comparamos con la extensión de la caída de ceniza, que pueden llegar a cientos de kilómetros. Es importante considerar especialmente el tipo de subamenaza a analizar.
- **Intensidad:** similar a la extensión espacial, la medida de intensidad variará según el tipo de subamenaza considerado. En el caso de flujos de lahares/lodo/pirocástico, la medida de intensidad más común es la profundidad del flujo de lahares/lodo/pirocástico, mientras que en el caso de las cenizas la más común es la carga máxima de cenizas en kg/m^2 .
- **Frecuencia:** cada subamenaza también tiene periodos de retorno asociados (promedio de la frecuencia con la que pueden ocurrir). En este caso, las intensidades pequeñas ocurren con gran frecuencia y las intensidades grandes en forma muy esporádica. Existe una curva de intensidad (por ej., carga de cenizas) versus la tasa de excedencia anual denominada curva de amenaza, que se utiliza en las evaluaciones totalmente probabilistas para representar los niveles de intensidad resultantes considerando todos los eventos posibles. En general, en el caso de la caída de ceniza se utilizan periodos de retorno muy extensos, por ej., de hasta 10 millones de años, en las evaluaciones de amenaza volcánica debido a las tasas de recurrencia especialmente bajas de las erupciones volcánicas explosivas.

A continuación se ofrecen detalles sobre la aplicación de los tres métodos de evaluación de amenazas (probabilista, determinista y de susceptibilidad). El Apéndice D presenta modelos específicos.

Evaluación probabilista de la amenaza: *La amenaza volcánica tiene al menos tres expresiones diferentes: flujos de lava, cenizas y flujos de lahares (o flujos piroclásticos).* Los detalles de cada una se presentan a continuación.

- **Modelo de flujo de lava.** La modelación probabilista de la amenaza por flujo de lava es un proceso de dos etapas. El primer paso es una estimación de las posibles ubicaciones geográficas de los futuros puntos de erupción seguida de una estimación de probables zonas de inundación por flujos de lava procedentes de estos puntos. Primero se selecciona la ubicación del origen del flujo de lava a partir de un modelo de densidad espacial de puntos nuevos potencialmente eruptivos. En segundo lugar, el modelo simula la efusión de lava de este desde este punto con base en las mediciones de campo del grosor y los volúmenes de flujos de lava de erupciones previas dentro de una zona que abarca el sitio de interés. Los flujos de lava simulados siguen la topografía, representada por un DEM. Dados los datos de entrada, las simulaciones de Monte Carlo generan numerosas ubicaciones posibles de puntos eruptivos y numerosos flujos de lava posibles, a partir de lo cual se calcula la probabilidad condicional de inundación del lugar por flujos de lava, dada la apertura de un nuevo punto eruptivo.

Los datos de entrada necesarios incluyen: distribución espacial de puntos eruptivos pasados, distribución de flujos de lava pasados dentro del área que rodea al sitio de emplazamiento del proyecto y características medibles de los flujos de lava, incluido el grosor, la longitud, el volumen y la superficie, con respecto a flujos de lava de erupciones previas.

- **Modelo de caída de ceniza.** Los modelos probabilistas de caída de ceniza tienen cuatro

procesos. Deben identificarse las fuentes volcánicas con respecto a cualquier sitio de interés determinado. Para cada fuente volcánica se calcula la probabilidad de erupción anual con base en las relaciones magnitud-frecuencia de los eventos pasados. Luego deben calcularse una serie de eventos estocásticos y relaciones de atenuación de carga volcánica (utilizando un modelo de dispersión de cenizas). Luego se realiza un cálculo de la probabilidad de excedencia anual de la amenaza de caída de ceniza volcánica para cada evento estocástico en cada sitio de emplazamiento del proyecto. Geoscience Australia desarrolló un modelo de caída de cenizas volcánicas para el Global Assessment Report 2015 (GAR15) utilizando la metodología de Evaluación Probabilista de Amenaza Volcánica y la herramienta VAPHR (Bear-Crozier y otros, 2014). Véase GVM y IAVCEI (2015) y Cardona y otros (2015) para conocer más detalles sobre este modelo.

Los datos de entrada necesarios incluyen: función de atenuación de carga de cenizas adecuada, caracterización de la amenaza y relación predictiva.

- **Flujos de lahares.** Los grandes deslizamientos de tierra y los flujos de escombros o lahares representan una de las mayores amenazas para las personas y propiedades corriente abajo de estratovolcanes.

Evaluación determinista de la amenaza: Para realizar un análisis de eventos pasados, se debe verificar si se han realizado mapas de flujos de lava, campos de ceniza, y lahares de eventos pasados en el área de estudio. En ocasiones las universidades, USGS y otras organizaciones desarrollan mapas de amenaza volcánica luego de ocurrido un evento.

Los datos de entrada necesarios incluyen: ubicación, modelo de elevaciones digital y cantidades de flujos de lava, caída de cenizas para recrear un suceso pasado y ubicación, modelo de elevaciones digital y grosor, longitud, volumen y superficie de los flujos de lava y lahares y una función de atenuación de flujo de cenizas para modelar un caso pesimista.

Evaluación de susceptibilidad a la amenaza: El último enfoque consiste en desarrollar un mapa de susceptibilidad utilizando datos de suelos volcánicos, áreas de baja elevación cerca de un volcán y zonas previas de la amenaza conocidas. Estas áreas designadas no están asociadas a un intervalo de periodo de retorno.

Los datos de entrada necesarios incluyen: datos sobre suelos volcánicos, áreas de baja elevación cerca del volcán y áreas previas de la amenaza conocidas.

Incendio



A continuación abordamos las tres dimensiones del análisis de amenazas para el caso de amenaza por incendio.

- *Extensión espacial:* La amenaza por incendio puede ser tanto local como regional dependiendo de la extensión y disponibilidad de material combustible. Por ejemplo, los incendios locales ocurren con gran frecuencia en los entornos urbanos pero también han ocurrido grandes incendios en vastas áreas con gran cantidad de vegetación natural, como los incendios de California de 2018. Se debe tener especial consideración de las características del área de estudio y determinar esto.

- *Intensidad:* Longitud de llama.

- *Frecuencia:* La probabilidad suele estimarse estadísticamente con base en eventos previos en la región pero también puede modelarse.

A continuación se ofrecen detalles sobre la aplicación de los tres métodos de evaluación de amenazas (probabilista, determinista y de susceptibilidad). El Apéndice D presenta softwares específicos.

Recuadro 6.8. Consejos para la selección del método de evaluación de la amenaza volcánica

Para realizar un análisis con respecto a un grupo o portafolio de activos en un área extensa donde puede ser difícil analizar cada uno en detalle y no se requiere capturar especificaciones y efectos locales, entonces puede ser más apropiado un enfoque totalmente probabilista. Si ya existe una evaluación probabilista para el área de estudio, se la debe utilizar. Dado que la amenaza volcánica consiste en diferentes subamenazas, se debe determinar si una, dos o tres de estas amenazas deberán ser analizadas.

Si se está diseñando o rehabilitando infraestructura una zona cerca de un volcán activo y se requiere un nivel alto de detalle, un enfoque probabilista simplificado o determinista puede ser más apropiado. Se debe conocer qué componentes del proyecto están expuestos a potenciales flujos de lava, lahares y caída de ceniza. Estos enfoques proveerán un análisis de amenaza más detallado. Si la recurrencia de la amenaza juega un papel importante, se debe utilizar un enfoque probabilista simplificado. De lo contrario, si la recurrencia de la amenaza no es importante, se debe utilizar un enfoque determinista.

Algunos modelos de volcanes requieren gran cantidad de datos que pueden no estar disponibles para la región. Si los datos necesarios para realizar una evaluación totalmente probabilista o probabilista simplificado no se encuentran disponibles, se debe considerar pasar a un enfoque determinista. La información del análisis determinista también puede utilizarse para lograr apropiación por parte de las partes interesadas locales y para influenciar la toma de decisiones sobre el emplazamiento del proyecto. Se puede considerar mostrarles un análisis determinista de un evento pasado o de un escenario pesimista, que será más fácil de comprender para quienes no son técnicos. El análisis determinista puede utilizarse en conjunto con un análisis probabilista para ayudar a las personas a entender ambas perspectivas.

Los mapas de susceptibilidad son adecuados para identificar poblaciones y edificios e infraestructura no pertenecientes al proyecto que son susceptibles y poder determinar los impactos en la comunidad.

Evaluación probabilista de la amenaza: Los modelos probabilistas son poco usados para modelar la amenaza por incendios forestales dada su complejidad, especialmente el enfoque totalmente probabilista donde se generan escenarios estocásticos. La modelación de la intensidad suele requerir de modelos de comportamiento de incendios. Para predecir la intensidad se pueden utilizar modelos para predecir la velocidad de propagación de un incendio de superficie y de corona (por ej. Forestry Canada Fire Danger Group 1992; Rothermel 1972, 1991), transición y propagación de un incendio de corona (Van Wagner 1977, 1993; Scott and Reinhardt 2001) y posibles efectos del incendio (por ej., mortalidad de árboles, consumo de combustibles, emisiones de humo, calentamiento y erosión del suelo). La probabilidad se suele estimar de forma estadística a partir de datos de ignición o simularse utilizando modelos de comportamiento de incendios, por lo que se requiere de una serie cronológica de eventos de incendio. La probabilidad de que tenga lugar un incendio puede representarse como probabilidad de ignición o bien probabilidad de incendio. Típicamente, la probabilidad de ignición se modela estadísticamente utilizando datos de ocurrencia de incendios, mientras que la probabilidad de incendio se calcula mediante simulación. Las dos representaciones pueden exhibir patrones espaciales muy diferentes y tienen a utilizarse con diferentes propósitos. Por ejemplo, las estimaciones de probabilidad de ignición se utilizan en simulaciones de ignición inicial y las probabilidades de incendio suelen aplicarse más en problemas de planificación de gestión de combustibles.

Los datos de entrada necesarios incluyen: datos sobre combustibles, vientos, meteorología, DEM, vegetación y árboles para modelar la intensidad y series cronológicas de eventos de incendio para modelar la probabilidad.

Evaluación determinista de la amenaza: Para realizar un análisis de eventos pasados, se debe utilizar datos históricos de la ubicación geográfica y de la intensidad del evento de incendio para verificar si las zonas previamente incendiadas fueron mapeadas en o cerca del lugar de emplazamiento del proyecto y también se deben revisar imágenes

satelitales históricas. En ocasiones las universidades y otras organizaciones desarrollan mapas después de que ocurre un evento. Para realizar un análisis de un evento modelado, se puede crear un mapa de las ubicaciones de las fuentes de combustible para determinar los lugares donde pueden ocurrir incendios en un modelo locacional. Es posible obtener algunos registros de largo plazo a partir de datos obtenidos de los anillos de los árboles, que ayudan a determinar la presencia de intervalos de recurrencia típicos.

Los datos de entrada necesarios incluyen: ubicación intensidad e imágenes satelitales de un suceso histórico para realizar un análisis de un suceso pasado, y datos sobre combustibles, vientos, meteorología, DEM, imágenes satelitales, vegetación y árboles para modelar un caso pesimista.

Evaluación de susceptibilidad a la amenaza: El último enfoque consiste en desarrollar un mapa de susceptibilidad utilizando diferentes datos incluidas las fuentes de combustible. Estas áreas designadas no están asociadas a un intervalo de periodo de retorno.

Los datos de entrada necesarios incluyen: datos sobre fuentes de combustible.

Consideraciones sobre cambio climático con relación a los incendios

A medida que el clima se calienta, se modifican los niveles de humedad y precipitación; las zonas húmedas suelen volverse más húmedas y las secas más secas. Las altas temperaturas y el adelantamiento del derretimiento de nieve en primavera suelen hacer que los suelos permanezcan secos por más tiempo, aumentando la probabilidad de sequía y extendiendo la temporada de incendios. Estas condiciones de calor y sequía también aumentan las probabilidades de que una vez que los incendios son iniciados por rayos o errores humanos sean más intensos y duren más.

Es probable que la amenaza por incendio aumente si la temperatura aumenta y la humedad del suelo disminuye, aunque las relaciones entre el clima y los

Recuadro 6.9. Consejos para seleccionar el método de evaluación de la amenaza por incendio

Para realizar un análisis con respecto a un grupo o portafolio de activos en un área extensa donde puede ser difícil analizar cada uno en detalle y no se requiere capturar especificaciones y efectos locales, entonces puede ser más apropiado un enfoque totalmente probabilista. Si ya existe una evaluación probabilista para el área de estudio, se la debe utilizar.

Si se está diseñando o rehabilitando infraestructura una zona cerca de un área forestal y se requiere un nivel alto de detalle, un enfoque probabilista simplificado o determinista puede ser más apropiado. Se debe conocer qué componentes del proyecto están expuestos a potenciales incendios forestales. Estos enfoques proveerán un análisis de amenaza más detallado. Si la recurrencia de la amenaza juega un papel importante, se debe utilizar un enfoque probabilista simplificado. De lo contrario, si la recurrencia de la amenaza no es importante, se debe utilizar un enfoque determinista.

Algunos modelos de incendios requieren gran cantidad de datos que pueden no estar disponibles para la región. Si los datos necesarios para realizar una evaluación totalmente probabilista o probabilista simplificada no se encuentran disponibles, se debe considerar pasar a un enfoque determinista. La información del análisis determinista puede utilizarse para lograr apropiación por parte de las partes interesadas locales e influenciar la toma de decisiones sobre el emplazamiento del proyecto. Se puede considerar mostrarles un análisis determinista de un evento pasado o de un escenario pesimista, que será más fácil de comprender para quienes no son técnicos. El análisis determinista puede utilizarse en conjunto con un análisis probabilista para ayudar a las personas a entender ambas perspectivas.

Los mapas de susceptibilidad son adecuados para identificar poblaciones y edificios e infraestructura no pertenecientes al proyecto que son susceptibles y poder determinar los impactos en la comunidad.

incendios son complejas. Por ejemplo, un año seco después de un año húmedo puede resultar particularmente propicio para un incendio dado que durante el año húmedo se acumula suficiente carga de combustible que luego puede incendiarse durante el posterior periodo seco. Las condiciones relativamente secas también pueden preparar el área para una mayor sensibilidad si ocurre una ola de calor de escasa duración pero intensa. De forma similar, en los ambientes de montaña, los vientos secos pendiente abajo pueden aumentar rápidamente el peligro de incendio. Por lo tanto, dependiendo de la ubicación geográfica, es necesario considerar diferentes condiciones de sequía y vientos para calcular el riesgo de incendios. El cambio climático también puede ocasionar cambios sustanciales en la cobertura del suelo y en el combustible asociado. Otros factores como las prácticas de cosecha, supresión del fuego y gestión de combustibles también suelen ser importantes para determinar el riesgo de incendios. Por lo tanto, las consideraciones climáticas con respecto a los incendios deben realizarse de forma explícita únicamente si existe un estudio científico relevante para la zona de interés.

Como en el caso de las sequías, la ocurrencia de los incendios depende de las condiciones secas. Para el corto plazo pueden resultar útiles las perspec-

tivas meteorológicas basadas únicamente en precipitaciones, pero a medida que las temperaturas aumentan, la influencia de la temperatura en el balance hídrico puede cobrar creciente importancia. Si bien tienen una influencia clara en el régimen de incendios, la estimación de evapotranspiración aumentada por la temperatura es difícil, y las diferentes formulaciones varían en gran medida en términos de su sensibilidad a los cambios de temperatura subyacentes.

Otro aspecto del calentamiento global es que es probable que la variabilidad interanual aumente, tanto dinámicamente como a través de feedbacks locales. Por lo tanto, si bien los promedios a largo plazo podrían permanecer relativamente estables, la mayor variabilidad de amplitud daría lugar a más incendios durante los años secos y la duración e intensidad de las condiciones secas aumentan.

A continuación presentamos consideraciones específicas sobre los tres métodos de evaluación de amenazas.

Evaluación probabilista y evaluación determinista de la amenaza: Se debe actualizar los modelos cuando utilizan evapotranspiración, temperatura, precipitación y cobertura del suelo. La temporada

de incendios se ampliará; se debe identificar una temporada de línea de base utilizando datos históricos y determinar qué porcentaje de tiempo se agregará y ajustar la probabilidad para reflejar este cambio. La probabilidad debe considerar explícitamente la variabilidad interanual. Por lo tanto, modela las secuencias con base en series cronológicas, no productos promedio climatológicos.

Existen numerosos enfoques diferentes para estimar el peligro de incendio e incorporar las interacciones y el feedback entre clima, vegetación e incendio (consulta Harris y otros 2016 para ver un resumen). El sistema de calificación de peligro de incendios forestales de Canadá (Canadian Forest Fire Danger Rating System o CFFDRS) incluye el índice de Tiempo Meteorológico de Incendios (Fire Weather Index o FWI) y el Sistema de Predicción de Comportamiento de Incendios (Fire Behavior Prediction System o FBPS) (Natural Resources Canada, sin fecha). Existe una reciente actualización por parte de Wang y otros (2017) disponible como R-package (CFFDRS: <https://r-forge.r-project.org/projects/cffdrs/>).

Datos necesarios: la probabilidad de condiciones secas puede estimarse a partir de registros de precipitaciones e índices de sequía más detallados basados principalmente en datos mensuales.

Evaluación de susceptibilidad a la amenaza: Se debe verificar cómo el menor contenido de humedad, las mayores temperaturas y la menor cantidad de precipitaciones impactan en las áreas susceptibles.

>Cuantificación del componente de exposición

El módulo de exposición de una evaluación de riesgo de desastres y cambio climático consiste en una base de datos georreferenciada que incluya todos los activos físicos, como así también la población, que pueden verse afectados por la amenaza natural. El módulo de la amenaza (antes detallado) afectará el contenido de este módulo. Dependiendo del proyecto, puede incluir uno o más (i) edificios (residenciales, comerciales, institucionales o industriales), (ii) infraestructura especializada como puentes, vías, sistemas de suministro de agua y saneamiento, etc., y (iii) personas.

Este módulo caracteriza adecuadamente los activos, almacenando atributos como su tipología, condiciones físicas, tipos constructivos y materiales, cantidad de niveles, sector de uso (para edificios), valor económico y otros que pueden ser necesarios para ejecutar el módulo de vulnerabilidad (véase la sección **Cuantificación del componente de vulnerabilidad** para identificar características específicas).

Uno de los atributos más importantes es el valor económico dado que estos valores serán utilizados en la evaluación de riesgo para cuantificar las pérdidas económicas para los elementos expuestos. Idealmente esta valuación debe incluir el valor de reposición física de la estructura (lo que cuesta reemplazar o llevar al elemento a su estado original - ten en cuenta que el valor no incluye el valor del terreno ni es el valor de mercado de la propiedad), el valor de sus contenidos (equipos permanentes, elementos arquitectónicos, etc.) y el valor económico que genera su funcionalidad u operación. Esto es necesario ya que el cálculo del riesgo debe, de forma similar, computar las pérdidas directas de la estructura y sus contenidos y las pérdidas indirectas debidas a la pérdida de funcionalidad. Es necesario recopilar información sobre empleados (y otros ocupantes) y cualquier información comercial disponible: valor de la renta mensual, ingreso diario del propietario, salarios diarios de los propietarios y cantidad de empleados y/u ocupantes durante el día y la noche. Debido a que los segundos y terceros aspectos pueden ser difíciles de evaluar, en ge-

neral se suele utilizar únicamente el primer aspecto y entonces sólo se calculan las pérdidas directas. Si es posible, se debe intentar reunir los tres aspectos.

Dependiendo del tipo de proyecto, puede ocurrir que exista solo uno o pocos activos (por ej., una única vía con algunos puentes) o múltiples activos (por ej., cientos o miles de edificios en una ciudad) que requieran ser caracterizados. De acuerdo a la cantidad de activos y al nivel de detalle requerido, existen dos enfoques para recopilar datos y construir la exposición, tal como lo muestra la Tabla 6.4. Para construir la exposición del proyecto, puede utilizarse cualquiera de estos dos enfoques. Para construir la exposición de las comunidades y terceros cercanos debe utilizarse el enfoque agregado.

Tabla 6.4. Enfoques para construir la exposición

Método	Descripción
Detallado: activos individuales	Este enfoque se utiliza para activos individuales que requieren una evaluación detallada del riesgo. La información sobre las características físicas de los activos puede proceder de documentos de diseño, planos finales conforme a obra y dibujos estructurales. Puede obtenerse información comercial detallada para determinar las pérdidas por interrupción operativa e información sobre los empleados para determinar las pérdidas sociales. Pueden realizarse encuestas al personal de planta.
Representativo: activos agregados	<p>Este enfoque se utiliza para grupos de activos que no requieren una evaluación individual y detallada del riesgo. Nivel de análisis agregado significa que la caracterización de los activos se realiza agrupando las tipologías. La información sobre las características físicas de los activos puede proceder de imágenes satelitales y datos secundarios existentes como encuestas y censos. La información comercial puede aproximarse utilizando datos sobre la superficie de uso comercial y parámetros comerciales locales. La población expuesta puede estimarse a partir de la superficie. Los contenidos pueden aproximarse con base a la ocupación de la estructura: para uso residencial suele ser $\frac{1}{2}x$ del valor de la estructura; para comercial, industrial y agrícola suele ser $1x$ el valor de la estructura y para escuelas y hospitales $2x$ el valor de la estructura. Este enfoque debe utilizarse para evaluar a las comunidades en o cerca del área del proyecto (para evaluar riesgo de exacerbación a terceros).</p> <p>Individualización espacial: si bien los activos se agrupan por tipologías, es necesario identificar y asignar una tipología a los activos individuales (por ej., edificio por edificio).</p> <p>Agregación espacial: además de agrupar los activos por tipología, éstos son agregados espacialmente conforme a un nivel mayor, como una manzana en una ciudad. La unidad de agrupación tendrá una única característica que represente las características más comunes de los activos individuales que incluye.</p>

En general, se realiza un ejercicio de mapeo de exposición que incluye la realización de una descripción completa del entorno físico de las áreas de intervención del proyecto y de su zona de influencia. En este ejercicio se visualizan y analizan todas las características de los elementos expuestos para hallar patrones, tendencias o, en general, obtener un panorama de lo que se encuentra expuesto a amenazas naturales en términos de tipos de infraestructura, dimensiones generales, valores, distribución geográfica y otros aspectos específicos.

>Cuantificación del componente de vulnerabilidad

La cuantificación de la vulnerabilidad tiene por objetivo evaluar con más precisión la propensión innata del proyecto a sufrir daños al enfrentar una amenaza natural. Esto implica, en general y para todas las amenazas, estudiar las características inherentes de las estructuras y personas expuestas que las hacen más o menos resistentes a las exigencias impuestas por las amenazas naturales.

Debido a que el riesgo puede evaluarse tanto para las pérdidas económicas (ocasionadas principalmente por los daños estructurales) y la pérdida de vidas, se incluye aquí tanto la vulnerabilidad de los activos físicos como la de las personas. En este documento, el término “vulnerabilidad estructural” se utiliza para referirse a los primeros y el término “vulnerabilidad social” a los segundos.

Consideraciones generales de evaluación de vulnerabilidad

Debido a que el módulo de vulnerabilidad vincula los módulos de amenaza y exposición, los métodos de evaluación de la vulnerabilidad deben guardar correspondencia con ambos. Esta sección brinda orientación en la selección de un enfoque de evaluación de vulnerabilidad. La Tabla 6.5 resume dos tipos básicos de evaluación de vulnerabilidad.

Es importante evaluar la vulnerabilidad del proyecto no solo estructuralmente a través de su diseño, sino también durante diferentes fases del proyecto, es decir, construcción y operación. Se recomienda una simple evaluación de exposición de la fase constructiva.

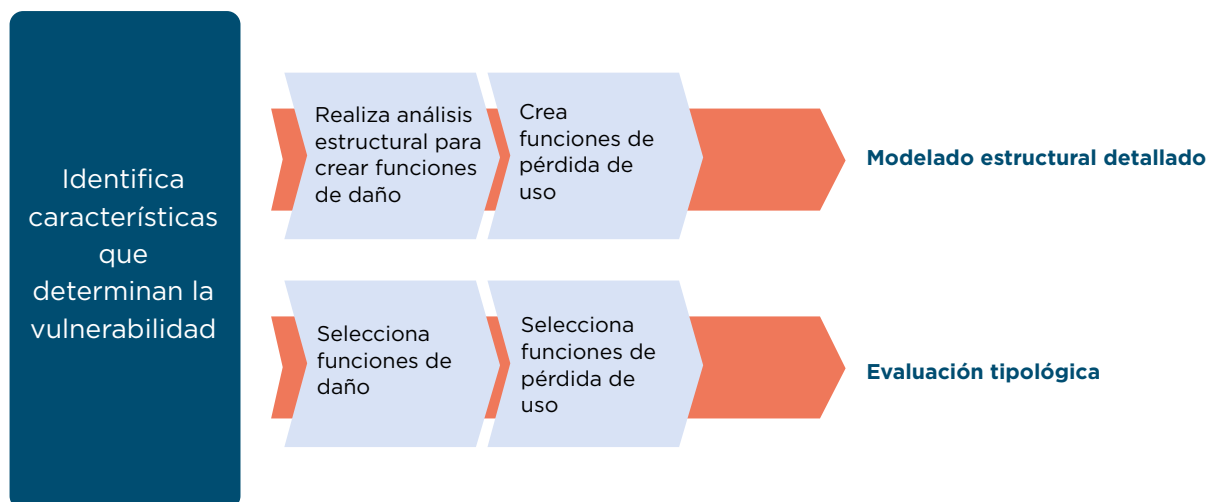
Tabla 6.5. Enfoques de evaluación de vulnerabilidad

Método	Descripción
Modelación estructural detallada: activos individuales	<p>Se utilizan documentos de diseño, planos finales conforme a obra, elevaciones e inspecciones del lugar de emplazamiento realizadas por un especialista técnico (por ej., ingeniero estructural o similar) para crear funciones de vulnerabilidad y/o fragilidad específicas para la estructura. Esto implica realizar análisis estructurales conforme a métodos de ingeniería estándar para modelar el comportamiento de la estructura bajo diferentes demandas de carga procedente de amenazas naturales. Este enfoque debe utilizarse en conjunto con el enfoque Detallado - activos individuales para exposición. Para acceder a ejemplos generales de encuestas, consulta el Apéndice E.</p> <p>Probabilista: para realizar una evaluación probabilista del riesgo, además de que la amenaza debe ser probabilista, la vulnerabilidad también debe ser tratada probabilísticamente. El análisis estructural probabilista requiere formular un modelo matemático que represente la probabilidad de que la estructura se comporte de determinada forma dadas sus propiedades y dado que las acciones sobre la estructura son de naturaleza aleatoria o incompletamente conocidas (Ditlevsen y Madsen, 2005). Pueden adoptarse enfoques probabilistas como el análisis de confiabilidad estructural, el enfoque de fragilidad de Hazus o el enfoque de vulnerabilidad de CAPRA (esta sección ofrece detalles al respecto). En general, estos enfoques tienen como objetivo incorporar las incertidumbres de ingeniería de modo tal que permita estimar probabilidades (y los diversos momentos estadísticos) del daño y de la falla y, en última instancia, del riesgo. Este enfoque puede adoptarse junto con el enfoque Probabilista (totalmente o probabilista simplificado) o Determinista (evento pasado o caso pesimista) para la amenaza.</p> <p>Determinista: el análisis estructural determinista consiste en formular un modelo matemático que represente el comportamiento de la estructura cuando todas sus propiedades y las acciones sobre la estructura están dadas (Ditlevsen y Madsen, 2005). Esto significa realizar un análisis estructural para determinar el comportamiento y el daño resultante para una sollicitación correspondiente sin considerar ninguna incertidumbre. Este enfoque puede adoptarse junto con el enfoque Determinista (totalmente o probabilista simplificado) o Determinista (evento pasado o caso pesimista) para la amenaza.</p>
Evaluación tipológica - múltiples activos	<p>Pueden utilizarse y asignarse a los activos las funciones de vulnerabilidad y/o fragilidad que existen en la literatura basadas en tipologías edilicias generales u ocupación edilicia. Este enfoque debe adoptarse junto con el enfoque para exposición Representativo - activos agregados para evaluar el riesgo para las comunidades en o cerca de la zona del proyecto (para evaluar la exacerbación del riesgo para terceros). Para acceder a ejemplos generales de encuestas, consulta el Apéndice E.</p> <p>Probabilista: las curvas de fragilidad y vulnerabilidad son probabilistas per se. No obstante, se debe tener cuidado con las curvas de vulnerabilidad y asegurarse de que las funciones seleccionadas consideren explícitamente la incertidumbre mediante al menos los primeros dos momentos estadísticos y que ambos se utilicen (en ocasiones sólo se toman los valores medios). Este enfoque puede adoptarse junto con el enfoque Probabilista (totalmente o probabilista simplificado) o Determinista (evento pasado o caso pesimista) para la amenaza.</p> <p>Determinista: se utilizan los valores medios de las funciones de vulnerabilidad y/o fragilidad sin considerar la incertidumbre. Este enfoque puede adoptarse junto con el enfoque Determinista (evento pasado o caso pesimista) para la amenaza.</p>
Análisis histórico de línea de tiempo³⁰	<p>Para el caso especial del sector agrícola y el análisis de riesgo mediante líneas de tiempo históricas, el componente de vulnerabilidad dentro de este enfoque está implícito en el establecimiento de una correlación entre la ocurrencia de la amenaza y una disminución en la producción (pérdidas) en las líneas de tiempo. En consecuencia, en este caso no existe un procedimiento explícito para la vulnerabilidad.</p>

³⁰ Este tipo de análisis es un método de evaluación de riesgo simplificado utilizado específicamente para el sector agrícola. Este método es tratado como un caso especial en la Metodología debido a que los modelos de riesgo de desastres más detallados para el sector agrícola aún son muy nuevos y están en desarrollo; por lo tanto, los otros enfoques más estandarizados detallados en esta Metodología para los componentes de amenaza, exposición y vulnerabilidad no necesariamente sirven siempre para este sector.

Las actividades que integran ambos enfoques (modelado estructural detallado para activos individuales y evaluación tipológica para múltiples activos) se resumen en el siguiente gráfico de flujos.

Figura 6.20. Resumen de actividades para desarrollar una evaluación de vulnerabilidad



Modelación estructural detallada

Este enfoque requiere de información detallada sobre los componentes del proyecto a evaluar. Esta información puede proceder de documentos de diseño, planos finales conforme a obra, dibujos estructurales y elevaciones del lugar de emplazamiento. También debe incluirse una inspección del lugar realizada por especialistas técnicos (por ej., ingeniero estructural o similar). Se crean funciones de vulnerabilidad específicas del proyecto y se las utiliza para generar estimaciones de pérdidas. El proceso para crear estas funciones consta de las siguientes tres actividades: (1) identificar características específicas que determinan la vulnerabilidad, (2) realizar un análisis estructural para crear funciones de vulnerabilidad y (3) crear funciones para pérdida de uso.

1. Identificar características específicas que determinan la vulnerabilidad:

Para los edificios y la infraestructura propuestos, las características pueden obtenerse de documentos de diseño y mediante consultas telefónicas al diseñador y al desarrollador. Para los edificios y la infraestructura existentes, puede requerirse que un ingeniero inspeccione el lugar y complete una encuesta. Las características específicas requeridas se informan por

tipo de amenaza en la siguiente sección (véase Consideraciones de vulnerabilidad por amenaza específica más adelante). Éstas incluyen cómo fueron construidos los edificios, los materiales utilizados y aspectos clave que los hacen más o menos vulnerables a la amenaza específica.

2. Realizar un análisis estructural para crear funciones de daño:

Se deben realizar análisis estructurales detallados para evaluar y probar la respuesta y el comportamiento de una estructura con respecto a demandas de carga impuestas por las amenazas naturales. Existen métodos de análisis estructural específicos para solicitaciones procedentes de diferentes amenazas, pero en general estos análisis requieren modelar analítica o empíricamente el comportamiento de la estructura bajo estas solicitaciones, en términos de cómo y en qué medida pueden dañarse. Existen métodos estandarizados para modelar la respuesta de una estructura y su correspondiente vulnerabilidad principalmente para cargas sísmicas, de viento y de agua, como se refleja, por ejemplo, en la norma de construcción ASCE/SEI 7 (véase ASCE/SEI 7-16 (ASCE, 2016) y ASCE/SEI 7-10 (ASCE, 2010)) y las numerosas normas de construcción nacionales y locales desarrolladas por cada país. Para integrar este análisis estructural

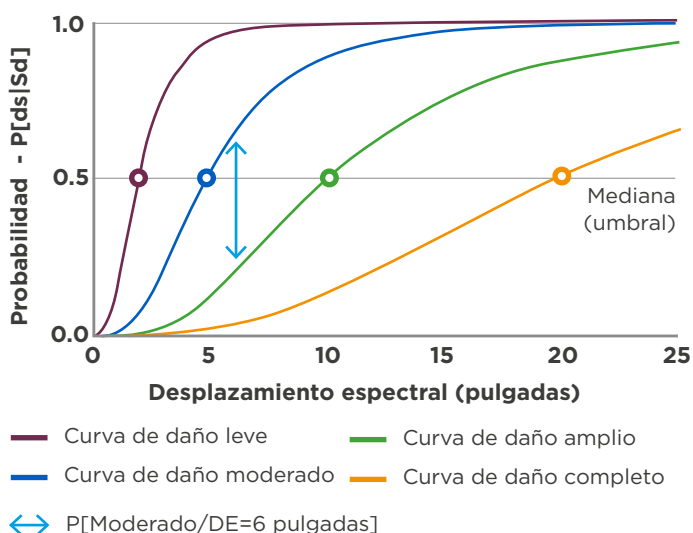
en una evaluación de riesgos, se deben seguir uno o más pasos: traducir los indicadores estructurales detallados obtenidos del análisis en una medida más global (en términos de una estructura en su conjunto) que permite una cuantificación más amplia y entendible del daño. Para ello, pueden adoptarse tres enfoques principales: aplicar la teoría de la confiabilidad estructural, utilizar el enfoque de Hazus que requiere generar curvas de fragilidad (FEMA, sin fecha) y adoptar el enfoque de CAPRA que implica generar curvas de vulnerabilidad (ERN-AL, s.f. a; ERN-AL, s.f. f; Cardona y otros, 2015; Ordaz, 2000).

Para un tratamiento probabilista del componente de vulnerabilidad (a utilizar en una evaluación probabilista del riesgo y utilizando la correspondiente evaluación probabilista de la amenaza y el enfoque detallado de exposición de un activo individual), cualquiera de los tres enfoques ofrece el tratamiento probabilista requerido.

a. La confiabilidad estructural es la “capacidad de un sistema de realizar una función buscada sin interrupciones; en términos matemáticos, la confiabilidad es una medida que iguala la probabilidad de cero fallas” (Mohammadi, 2013) y surgió como una forma de reconocer y tratar la incertidumbre en los problemas de ingeniería, incluidos los que investigan la falla de una estructura, de forma rigurosa. En este primer enfoque, se aplica la teoría de la confiabilidad estructural a los análisis estructurales detallados mencionados anteriormente para, en última instancia, calcular las probabilidades de falla o colapso de una estructura o un sistema (véase Wayan, 2012; Lazar y Dolsek, 2012; Franchin y otros, 2012; Todinov, 2008). Johansson y otros (2013) realiza un análisis y comparación interesante entre los conceptos de confiabilidad estructural y vulnerabilidad para infraestructura crítica, reconociendo sus similitudes de fondo y sus diferencias y matices. Básicamente se resalta la importancia de considerar y analizar tanto la habilidad de una entidad de realizar su función esperada y su inhabilidad de resistir demandas.

b. FEMA (la Agencia Federal de Gestión de Emergencias de Estados Unidos) desarrolló un sistema y una metodología propios para evaluar pérdidas por desastres cuyo nombre es Hazus (FEMA, sin fecha). El módulo de vulnerabilidad de Hazus consiste en determinar la probabilidad de que una estructura esté en un estado de daño específico. La respuesta de una estructura a una amplia gama de sollicitaciones se expresa mediante curvas de fragilidad que ofrecen estar probabilidades. El proceso para construir las curvas consiste, en primer lugar, en obtener la respuesta máxima de la estructura, segundo, calcular la probabilidad de tener o superar cada estado de daño y, tercero, computar la probabilidad de estar exactamente en cada estado de daño. Para el primer paso se realiza un análisis estructural utilizando los métodos mencionados anteriormente. En el segundo paso se definen los estados de daño (cinco categorías discretas que representan el grado de daño: ninguno, leve, moderado, amplio y completo), los valores límite de la medida de intensidad de la amenaza seleccionada son asociados a cada estado de daño y éstos son luego tratados como una variable aleatoria siguiendo una distribución lognormal. La función de distribución acumulada resultante pasa a ser la curva de fragilidad a partir de la cual pueden calcularse las probabilidades de excedencia de estados de daño. En el último paso se discretizan las probabilidades de excedencia dadas por la función de distribución acumulada para obtener probabilidades discretas de estar en cada estado de daño. Como resultado de esto, las curvas capturan la incertidumbre de estar en uno u otro estado de daño específico debido a que ofrecen la distribución de probabilidades completa de tener diferentes estados de daño. Estas curvas suelen utilizarse para calcular los daños ocasionados por terremotos y tsunamis y también pueden utilizarse para otras amenazas. El resultado es un conjunto de probabilidades de llegar a cierto nivel de daño o a ningún daño. La suma de estas probabilidades es cien por ciento. La Figura 6.21 muestra un ejemplo de curvas de fragilidad para terremoto.

Figura 6.21. Ejemplo de curvas de fragilidad (para terremoto - Hazus 4.2 2018)



Además, y para considerar la vulnerabilidad social (en términos de personas lesionadas y muertes) Hazus también ofrece funciones sobre víctimas para estimar el número de víctimas como una función del estado de daño del activo y del tipo constructivo. Identifica cuatro niveles diferentes de víctimas:

Nivel 1: Lesión, no se requiere hospitalización

Nivel 2: Lesión, se requiere hospitalización

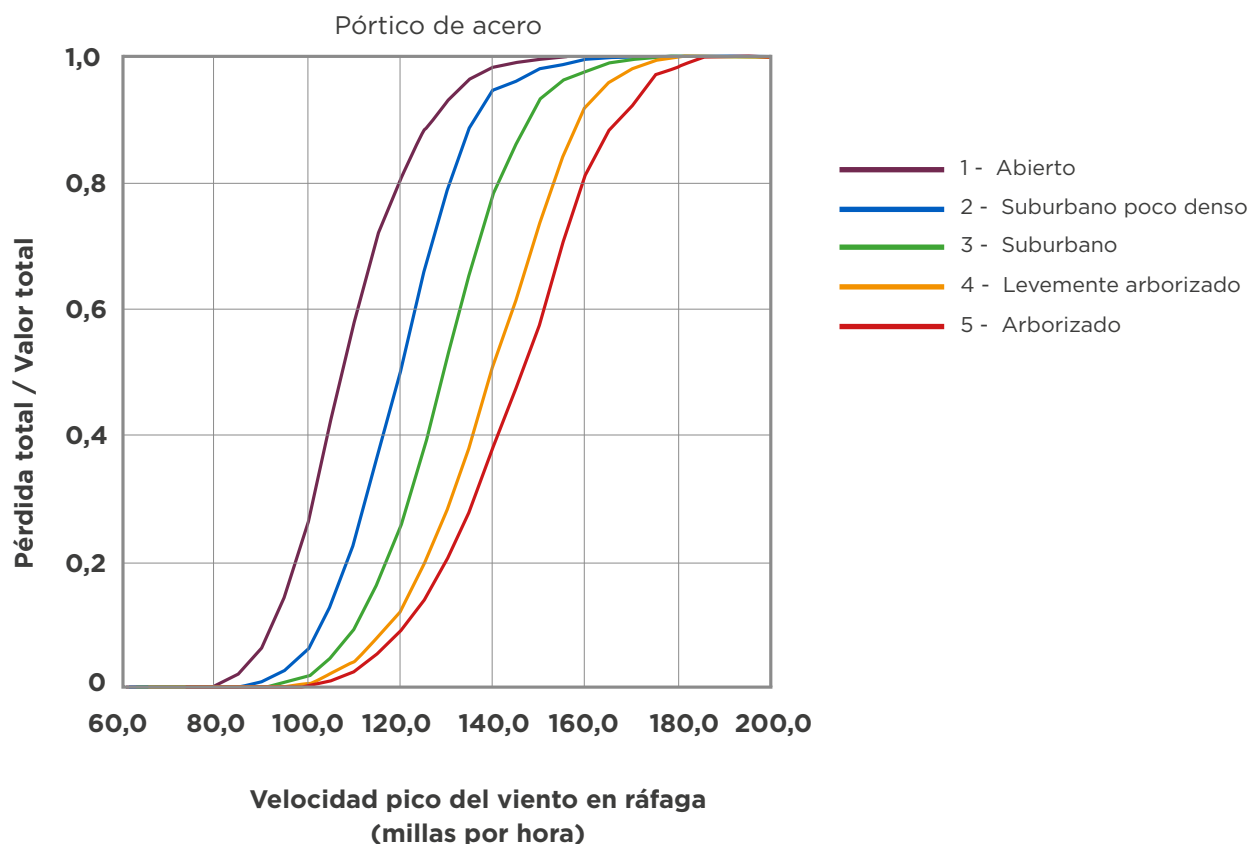
Nivel 3: Lesión potencialmente mortal, se requiere hospitalización

Nivel 4: Muerte

En todos los tipos edilicios, una estructura levemente dañada causaría 0,5 víctimas de nivel 1 por cada 1.000 personas. El Apéndice F muestra tablas para estructuras moderadamente, severamente y completamente dañadas. Todos los valores mostrados en estas tablas representan víctimas por cada 1.000 personas.

c. CAPRA es una plataforma desarrollada (con apoyo técnico y financiero del Banco Interamericano de Desarrollo, del Banco Mundial y de la Estrategia Internacional para la Re-

ducción de Desastres de Naciones Unidas) como una herramienta de fuente abierta y acceso abierto específica para la evaluación del riesgo probabilista de múltiples amenazas (Cardona y otros, 2011). El módulo de vulnerabilidad de CAPRA consiste en curvas de vulnerabilidad que representan la respuesta de una estructura a una amplia gama de sollicitaciones en términos de porcentaje de daño generalmente expresado como un porcentaje del valor de la estructura. Las curvas de vulnerabilidad son probabilistas por naturaleza ya que se generan tratando el daño o la pérdida como una variable aleatoria siguiendo una distribución Beta a partir de la cual sus momentos estadísticos completos (valor esperado y desviación estándar) crean las funciones (ERN-AL, sin fecha e). El proceso para construir las curvas consiste, en primer lugar, en obtener la respuesta de la estructura, segundo, aplicar el tratamiento probabilista del daño y, tercero, computar el valor esperado y la desviación estándar del daño. Para el primer paso se realiza un análisis estructural utilizando uno de los métodos ya mencionados (consulta los métodos para amenazas específicas más adelante en esta sección). En el segundo paso el daño es tratado como una variable aleatoria siguiendo una distribución Beta. En el último paso la distribución de probabilidades se utiliza para calcular los momentos estadísticos, el valor esperado y la desviación estándar, y ambos pasan a ser la curva de viabilidad. Como resultado de esto, las curvas capturan la incertidumbre de tener un cierto estado de daño debido a que ofrecen la distribución de probabilidades completa. Estas curvas suelen utilizarse para calcular los daños ocasionados por terremotos e inundaciones y también pueden utilizarse para otras amenazas. La Figura 6.22 muestra un ejemplo de función de vulnerabilidad para viento huracanado.

Figura 6.22. Ejemplo de curva de vulnerabilidad

Fuente: Hazus 4.2 (2018)

Para un tratamiento determinista del componente de vulnerabilidad (a utilizar en una evaluación determinista del riesgo y utilizando una correspondiente evaluación determinista de la amenaza y adoptando el enfoque de exposición detallado para activos individuales), los últimos dos enfoques pueden utilizarse indirectamente realizando los análisis estructurales mencionados anteriormente tomando parámetros de capacidad y demanda como un dato dado y determinando la respuesta o los daños correspondientes directamente y tomándolo como cierto. En otras palabras, consiste en eliminar la dimensión probabilista de los enfoques, que considera un rango de posibilidades y probabilidades de tener diversos estados de daño o valores, y tomar valores de daños medios o un estado de daño específico como un dato dado.

3. Crear funciones de pérdida de uso:

Las pérdidas indirectas incluyen las que se deben a pérdida de funcionalidad que llevan a la interrup-

ción del negocio. Esto requiere, en primer lugar, determinar el tiempo, en promedio, que los activos permanecen inoperables. Este marco de tiempo se requiere para poder calcular las pérdidas por interrupción del negocio y debe determinarse como una función de la intensidad de la amenaza estudiada. La función de pérdida de uso te permite identificar por cuánto tiempo permanecerá inutilizable un componente del proyecto luego de ocurrido un desastre. Las funciones de fragilidad de Hazus y las curvas de vulnerabilidad de CAPRA también ofrecen métodos para crear funciones de pérdida de uso y funciones para pérdidas en los contenidos.

Para la evaluación de vulnerabilidad detallada, es posible obtener información específica del proyecto mediante encuestas y entrevistas a las partes involucradas en el proyecto. Se necesita recopilar información sobre la duración típica de la interrupción del negocio luego de un evento, los costos de interrupción, ingresos y salarios, entre otros datos.

Las correspondientes pérdidas económicas ocurridas como resultado de la interrupción del negocio han sido identificadas del siguiente modo: (i) gastos de reubicación y pérdidas de ingresos por rentas; (ii) pérdidas relacionadas con capital, pro-

ducción y empleo; y (iii) pérdida de salarios. La interrupción del negocio total es una combinación de las tres pérdidas. Para todas las amenazas, utiliza las siguientes ecuaciones para calcular las pérdidas por interrupción del negocio.

Ecuación 6-11

$$\text{Pérdida por reubicación} = \text{Costos por interrupción} + \text{Tiempo de recuperación} \times (\text{Costos de arrendamiento})$$

donde el tiempo de recuperación, los costos por interrupción y los costos de arrendamiento son consultados o aproximados para el proyecto espe-

cífico (véase el Apéndice F para conocer detalles sobre cómo investigar y recopilar estos datos).

Ecuación 6-12

$$\text{Pérdida de ingresos por rentas} = \text{Tiempo de recuperación} \times (\text{Costos de arrendamiento})$$

donde el tiempo de recuperación y los costos de arrendamiento son consultados o aproximados para el proyecto específico (véase el Apéndice

F para conocer detalles sobre cómo investigar y recopilar estos datos).

Ecuación 6-13

$$\text{Pérdida de capital} = (1 - \text{Factor de recaptura de ingresos}) \times \text{Ingresos diarios} \times \text{Tiempo de recuperación}$$

donde el tiempo de recuperación, ingresos diarios y el factor de recaptura de ingresos son consultados o aproximados para el proyecto específico

(véase el Apéndice F para conocer detalles sobre cómo investigar y recopilar estos datos).

Ecuación 6-14

$$\text{Pérdida de salarios} = (1 - \text{Factor de recaptura de salarios}) \times \text{Salarios diarios} \times \text{Tiempo de recuperación}$$

donde el tiempo de recuperación, salarios diarios y el factor de recaptura de salarios son consultados o aproximados para el proyecto específico

(véase el Apéndice F para conocer detalles sobre cómo investigar y recopilar estos datos).

Por último, las pérdidas totales se calculan utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Pérdida total} = \underbrace{\text{Pérdida estructural} + \text{Pérdida de contenido} + \text{Pérdida de inventario}}_{\text{Pérdidas directas}} + \underbrace{\text{Pérdida interrupción del negocio}}_{\text{Pérdidas indirectas}}$$

Evaluación topológica

Este enfoque requiere menos información detallada sobre los componentes del proyecto a evaluar que el enfoque de modelado estructural detallado. Las características de vulnerabilidad se recopilan para los elementos considerándolos como un todo y se pueden realizar suposiciones en caso de no haber información detallada disponible. Las funciones de vulnerabilidad y/o fragilidad existentes luego se utilizan para generar estimaciones de pérdida. Este enfoque también debe utilizarse para evaluar a las

comunidades en o cerca del área del proyecto. Este método consiste en tres actividades: (1) identificar características específicas que determinan la vulnerabilidad, (2) identificar funciones de vulnerabilidad específicas y (3) identificar funciones para pérdida de uso específicas.

1) Identificar características específicas que determinan la vulnerabilidad:

Para los edificios y la infraestructura propuesta, las características pueden obtenerse de documen-

tos de diseño y mediante consultas telefónicas al diseñador y al desarrollador. Para los edificios y la infraestructura existente, puede requerirse que un ingeniero inspeccione el lugar y complete una encuesta. Las características específicas requeridas se informan por tipo de amenaza en la siguiente sección (véase Consideraciones de vulnerabilidad por amenaza específica más adelante). Éstas incluyen cómo fueron construidos los edificios, los materiales utilizados y aspectos clave que los hacen más o menos vulnerables a la amenaza específica.

2) Identificar y utilizar funciones de vulnerabilidad y/o fragilidad:

Las funciones de vulnerabilidad como las desarrolladas en el enfoque de modelación estructural detallada más arriba pueden encontrarse en la lite-

ratura sobre la materia y cubren un amplio rango de amenazas y tipos de estructuras (por ej., inundación, temblores del suelo, velocidades de viento, longitud de llama, flujo de tsunami y volúmenes de deslizamiento de tierra, entre otros). A mayor nivel de detalle identificable por el evaluador de riesgo, mayor será la precisión en la selección de la función de vulnerabilidad. La tabla presentada abajo ofrece recursos disponibles sobre funciones de vulnerabilidad. Algunas se crean utilizando estadísticas de numerosos eventos, otras un enfoque de modelo físico utilizando cargas en estructuras y fallas previstas de componentes estructurales, y otras se desarrollan recurriendo a expertos. Utilizando los recursos presentados abajo y las características identificadas en la actividad previa, se debe identificar funciones de daño aplicables al proyecto.

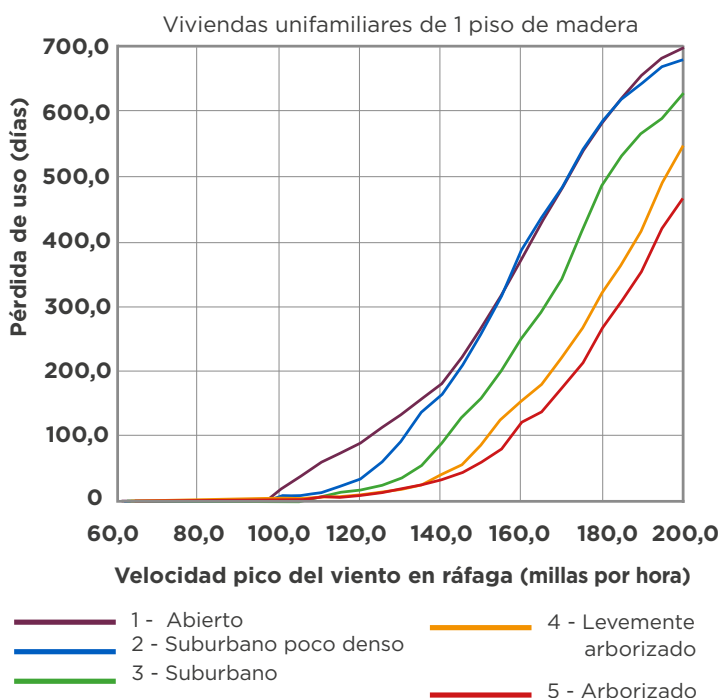
Tabla 6.6. Recursos para funciones de vulnerabilidad y fragilidad

Amenaza	Fuente:	Enlace
Inundación	U.S. Army Corps of Engineers	http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a255462.pdf
	U.S. Federal Insurance Administration	https://www.fema.gov/media-library/assets/documents/24609
	U.S. FEMA (Hazus)	https://www.fema.gov/media-library/assets/documents/24609
	Multi-Coloured Manual del Reino Unido	https://www.mcm-online.co.uk/
	Modelo JRC de la Comisión Europea	http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC105688
	Modelo Flemish	s/d
	Scanner de daños	s/d
	FLEMO	http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/risa.12650/full
	CAPRA	https://www.ecapra.org/topics/ern-flood
Viento	U.S. FEMA (Hazus)	https://www.fema.gov/media-library/assets/documents/24609
	CAPRA	https://www.ecapra.org/topics/ern-hurricane
	Florida International University	https://www4.cis.fiu.edu/hurricaneloss/html/model001.html#10
Terremoto	ATC-63	https://www.atccouncil.org/atc-63
	FEMA/NIBS/RMS (Hazus)	https://www.fema.gov/media-library/assets/documents/24609
	FEMA 757	https://www.fema.gov/media-library/assets/documents/757
	Vision2000	http://www.seaoc.org/page/2015SSDMV2
	CAPRA	https://www.ecapra.org/topics/earthquake
	GEM	https://www.globalquakemodel.org/
Incendio	U.S. Forest Service	https://www.fs.fed.us/wwetac/old/projects/vaillant.html
Deslizamiento de tierra	Geological Society of London	http://qiegh.lyellcollection.org/user/logout?current=node/13382
	CAPRA	https://ecapra.org/topics/vulnerability
Tsunami	U.S. FEMA (Hazus)	https://www.fema.gov/media-library/assets/documents/24609
	CAPRA	https://ecapra.org/topics/vulnerability
Volcánica	CAPRA	https://ecapra.org/topics/vulnerability

3) Identificar funciones de pérdida de uso:

La función de pérdida de uso permite identificar por cuánto tiempo permanecerá inutilizable un componente del proyecto luego de ocurrido un desastre. El valor de pérdida de uso es imperativo para calcular las pérdidas por interrupción del negocio. Para una evaluación de vulnerabilidad topológica, es posible obtener información comercial general y tipificada a partir de funciones de días de pérdida de uso que existen en la literatura en la materia y que pueden utilizarse. A continuación consta un ejemplo de función de vulnerabilidad para viento huracanado. En los enlaces de Hazus que figuran arriba se puede encontrar funciones para pérdida de uso. Utilizando los recursos anteriores, identifica funciones específicas de pérdida de uso que se ajusten a los componentes del proyecto. Si no hay funciones de pérdida de uso disponibles para las amenazas de interés, se puede realizar suposiciones con base en el daño sufrido por la estructura.

Figura 6.23. Ejemplo de función de pérdida de uso



Fuente: Hazus 4.2 (2018)

Para la mayoría de las amenazas, se puede utilizar la Tabla 6.7 para determinar el valor de la pérdida de uso en días (las siguientes secciones ofrecen funciones específicas de pérdida de uso para inundación y viento huracanado). La función de pérdida de uso de la ocupación del edificio (descripción) y el estado de daños. Por ejemplo, la estructura de un negocio minorista que ha sido moderadamente dañada permanecerá inutilizable por 90 días. Si estos valores no son realistas para la comunidad en la que se sitúa el proyecto, se puede actualizarlos para obtener resultados más precisos.

El correspondiente cálculo posterior de pérdidas económicas a causa de la interrupción del negocio se realiza del mismo modo que en el caso de la evaluación detallada anterior, pero el tiempo de recuperación se determina con base en las funciones existentes de pérdida de uso y los costos se estiman utilizando datos secundarios disponibles.

Si la exposición se realizó utilizando agregación espacial, en lugar de seguir el procedimiento descrito arriba para estructuras individuales, se debe realizar un análisis ponderado de área para cada forma de polígono. El porcentaje de cada magnitud de amenaza deberá calcularse para una porción del polígono del activo. Se debe calcular la pérdida de uso (días) promedio utilizando todos los valores de la amenaza y de la tabla.

Tabla 6.7. Tabla de pérdida de uso para otras amenazas (Hazus 4.2 2018).

Descripción	Número de días			
	Ninguno	Leve	Moderado	Extenso
Agricultura	0	2	20	60
Negocio minorista	0	10	90	270
Estacionamiento	0	5	60	180
Negocio mayorista	0	10	90	270
Servicios personales y de reparación	0	10	90	270
Servicios profesionales/técnicos	0	20	90	360
Bancos	0	20	90	180
Hospital	0	20	135	540
Consultorio médico/clínica	0	20	135	270
Entretenimiento y recreación	0	20	90	180
Teatros	0	20	90	180
Escuelas primarias	0	10	90	360
Escuelas terciarias/universidades	0	10	120	480
Servicios generales	0	10	90	360
Respuesta ante emergencias	0	10	60	270
Alta	0	10	90	240
Leve	0	10	90	240
Alimentos/medicamentos/químicos	0	10	90	240
Procesamiento de metales/minerales	0	10	90	240
Alta tecnología	0	20	135	360
Construcción	0	10	60	160
Iglesias y otras org. sin fines de lucro	0	5	120	480
Vivienda unifamiliar	0	5	120	360
Vivienda fabril	0	5	20	120
Dúplex	0	10	120	480
Tríplex / Cuádruplex	0	10	120	480
Múltiples viviendas (5 a 9 unidades)	0	10	120	480
Múltiples viviendas (10 a 19 unidades)	0	10	120	480
Múltiples viviendas (20 a 49 unidades)	0	10	120	480
Múltiples viviendas (más de 50 unidades)	0	10	120	480
Alojamiento temporario	0	10	90	360
Residencias institucionales	0	10	90	360
Asilos	0	10	120	480

Análisis histórico de línea de tiempo

Este tipo de análisis es un método de evaluación de riesgo simplificado utilizado específicamente para el sector agrícola. Este método es tratado como un caso especial en la Metodología debido a que los modelos de riesgo de desastres más detallados para el sector agrícola aún son muy nuevos y están en desarrollo; por lo tanto, los otros enfoques más estandarizados detallados en esta Metodología para los componentes de amenaza, exposición y vulnerabilidad no necesariamente sirven para este sector.

Este método fue desarrollado por el Banco Mundial (2016) en su documento titulado *Agricultural Sector Risk Assessment: Methodological Guidance for Practitioners*. Su objetivo no es desarrollar en profundidad modelos de amenazas y vulnerabilidad, sino calcular las pérdidas en la producción

agrícola debidas a amenazas naturales utilizando datos históricos sobre pérdidas. Por lo tanto, con este enfoque del riesgo la vulnerabilidad es tratada implícitamente mediante una correlación y causalidad supuesta entre una disminución observada en la productividad y la ocurrencia concurrente de un evento. No deben realizarse actividades sobre vulnerabilidad explícitas para esta evaluación de riesgo. Véase la evaluación simplificada de riesgo agrícola en la sección **Análisis histórico de línea de tiempo bajo el resumen de métodos de cálculo del riesgo** para obtener más detalles sobre cálculo de riesgo.

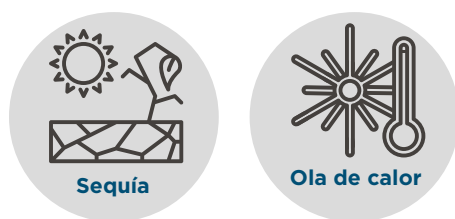
Consideraciones sobre vulnerabilidad por amenaza específica:

Las personas en general son vulnerables a todas las amenazas, por lo tanto, es necesario recopilar in-

formación sobre los empleados y la comunidad, sin importar la amenaza de la que se trate, y abordar su vulnerabilidad. Por otra parte, debido a que las diferentes amenazas tienen expresiones físicas diferentes, las características físicas que determinan la vulnerabilidad de una estructura dependerá de la amenaza.

Para mostrar el modo en que se utiliza cada uno de los enfoques mencionados en la Tabla 6.5, se han agrupado las amenazas con base en un enfoque de vulnerabilidad en común. Además, se debe determinar el tiempo durante el cual el activo permanecerá inoperable. Este plazo de tiempo se requiere para calcular las pérdidas por interrupción del negocio. Existen diversos modos para realizar este cálculo dependiendo de la amenaza de interés. A continuación se presenta un análisis sobre consideraciones típicas sobre vulnerabilidad y métodos por amenaza.

Sequía y ola de calor



Se suele considerar que la infraestructura en general no es vulnerable a estas amenazas dado que los cambios en la temperatura o la escasez de agua no las afecta físicamente.

En el caso de la ola de calor, las vías podrían ser una excepción, por ejemplo, ya que la ola de calor puede afectar la durabilidad del pavimento; lo mismo ocurre con otras infraestructuras que son sensibles a las temperaturas extremas. Además la población que tiene o no tiene acceso a refrigeración activa o pasiva es otro factor clave de vulnerabilidad social. Esto puede requerir de electricidad suficiente (nivel de potencia) o acceso a centros comunitarios con ambientes refrigerados; el acceso, los fondos para hacer funcionar los equipos de aire acondicionado, la confiabilidad de la red de electricidad o la disponibilidad de sótanos se relacionan con la vulnerabilidad.

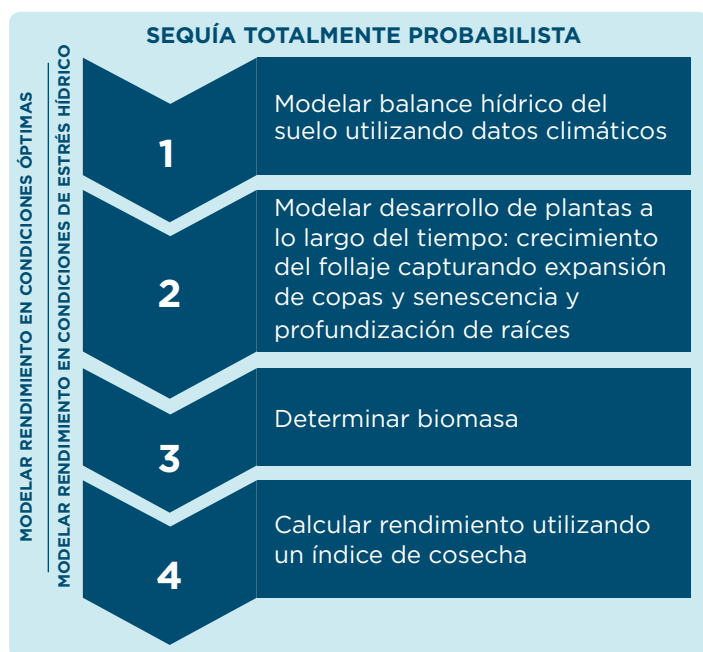
En el caso de la sequía, el sector agrícola es vulnerable a esta amenaza y las plantaciones/los cultivos son los principales activos por considerar. Las principales características que determinan la vulnerabilidad de los cultivos son el tipo de cultivo, su demanda de agua y el ciclo de crecimiento (etapas fenológicas).

A continuación se ofrecen detalles sobre la aplicación de los dos métodos de evaluación de vulnerabilidad (modelado estructural detallado y evaluación topológica).

Modelación estructural detallada (para activos individuales). aquí se presenta un método detallado para la evaluación del riesgo de sequía agrícola debido a que, como se ya se mencionó, el único sector que resulta más evidentemente afectado por la sequía es el agrícola.

El método corresponde al enfoque propuesto por Bernal y otros (2017) de un marco de riesgo de sequía agrícola totalmente probabilista ya presentado en la sección de amenaza por sequía y que incluye un módulo de vulnerabilidad de cultivos detallado. Este módulo sigue el método de la FAO descrito en *Irrigation and Drainage Paper No. 66: Crop yield response to water* (Steduto y otros, 2012) que define la vulnerabilidad como la diferencia entre el rendimiento óptimo de un cultivo y el rendimiento resultante en condiciones de estrés hídrico. La respuesta del rendimiento de un cultivo a la disponibilidad de agua se evalúa mediante modelación (utilizando el software AquaCrop, véase Raes y otros, 2011) del desarrollo del cultivo, los suelos y la gestión agrícola para calcular la biomasa del cultivo y, finalmente, el rendimiento. La Figura 6.24 se presenta un resumen del procedimiento para vulnerabilidad agrícola propuesto (véase Steduto y otros, 2012 y Bernal y otros, 2017 para conocer más detalles).

Figura 6.24. Principales pasos de una evaluación de vulnerabilidad agrícola



Los pasos resumidos en la Figura 6.24 se realizan tanto para un escenario óptimo donde no existe estrés hídrico (u otras limitaciones) como para un escenario en condiciones de estrés hídrico incorporando condiciones de sequía.

1. Utilizando los datos climáticos como datos de entrada, se modela el balance hídrico del suelo para determinar un coeficiente de estrés hídrico que afecta el crecimiento de las plantas.
2. El desarrollo de la planta se modela a lo largo del tiempo para todas las etapas fenológicas (vegetativa, floración, desarrollo de la semilla/ del fruto y maduración). Se obtiene una función de cobertura de follaje de referencia utilizando un coeficiente de crecimiento de follaje en condiciones óptimas y luego la función de cobertura de follaje real se determina multiplicando el coeficiente de crecimiento de follaje por el coeficiente de estrés hídrico.
3. La transpiración de la planta se calcula a partir de la función de cobertura de follaje (incluyendo también el coeficiente de estrés hídrico) y luego la cantidad de biomasa se calcula como una función de la transpiración de la planta y un parámetro de productividad de agua que indica la cantidad de biomasa producida por cantidad unitaria de transpiración.

4. Por último, el rendimiento se calcula como la proporción de biomasa que se vuelve cosechable. La biomasa es multiplicada por un índice de cosecha. Se determina el rendimiento en condiciones óptimas y en condiciones de sequía y se los compara para determinar la pérdida de rendimiento.

Este enfoque sobre vulnerabilidad debe utilizarse con el enfoque de evaluación de la amenaza probabilista y con el enfoque de exposición detallado para activos individuales para obtener una evaluación de riesgo agrícola probabilista.

Evaluación topológica (para múltiples activos):

el método de vulnerabilidad agrícola descrito anteriormente para la modelación estructural detallado puede utilizarse también en una evaluación topológica de la vulnerabilidad para múltiples activos. En este caso los cultivos pueden agruparse y pueden realizarse suposiciones generales sobre estos tipos de cultivo. Este enfoque sobre vulnerabilidad debe utilizarse con el enfoque de evaluación de la amenaza probabilista y con el enfoque de exposición agregado representativo para obtener una evaluación de riesgo agrícola probabilista.

Análisis histórico de línea de tiempo: la última opción, nuevamente aplicable únicamente al sector agrícola, es el método simple utilizado en el documento *Agricultural Sector Risk Assessment: Methodological Guidance for Practitioners* desarrollado por el Banco Mundial (2016). Con este enfoque del riesgo la vulnerabilidad es tratada implícitamente mediante una correlación y causalidad supuesta entre una disminución observada en la productividad y la ocurrencia concurrente de un evento. No deben realizarse actividades sobre vulnerabilidad explícitas para esta evaluación de riesgo. Véase la evaluación simplificada de riesgo agrícola en la sección **Análisis histórico de línea de tiempo bajo el resumen de métodos de cálculo del riesgo** para obtener más detalles sobre cálculo de riesgo.

Para crear o asignar funciones de pérdida de uso, utiliza los valores generales presentados en la Tabla 6.7 de acuerdo a estados de daño aproximado para diversos sectores.

Terremoto



A diferencia de la sequía y la ola de calor, usualmente la mayoría de las infraestructuras son consideradas vulnerables a la amenaza sísmica, debido a que el movimiento del terreno afecta a todo lo que esté en el suelo. Lo que varía en este caso es el nivel de vulnerabilidad y ciertos tipos de estructuras son más o menos vulnerables que otras. En la mayoría de las estructuras (incluidos los edificios y los puentes) las principales características estructurales que afectan su vulnerabilidad incluyen la tipología estructural y el sistema estructural y su sistema de resistencia de fuerza lateral (por ej., pórticos resistente al momento vs. pórticos arriostrados), tipo de cimentación, materiales de construcción (por ej., hormigón reforzado, acero o mampostería) y condición general. En el caso de infraestructura tipo tubería (por ej., redes de suministro de agua y saneamiento) las principales características son el material (por ej., concreto vs. PVC) y el tipo de uniones (por ej., rígidas versus flexibles).

A continuación se ofrecen detalles sobre la aplicación de los dos métodos de evaluación de vulnerabilidad (modelado estructural detallado y evaluación topológica).

Modelación estructural detallada (para activos individuales): deben utilizarse técnicas de ingeniería estructural para modelar la respuesta de la estructura a las demandas sísmicas. Existe una amplia variedad de métodos y técnicas para hacerlo, debido a que esto ha sido siempre un aspecto esencial en la práctica de la ingeniería. En este contexto, el componente de vulnerabilidad de una evaluación de riesgo es el análisis estructural en el lenguaje tradicional de la ingeniería.

Los principales grupos de métodos para realizar análisis estructurales incluyen análisis lineal estático elástico (análisis de la fuerza horizontal equivalente), análisis lineal elástico dinámico (análisis modal de respuesta espectral), análisis estático no lineal incremental (análisis *pushover*), análisis dinámico no lineal (análisis en el dominio del tiempo) y análisis dinámico no lineal incremental (IDA, por sus siglas en inglés, análisis in-

cremental en el dominio del tiempo); véase ASCE/SEI 7-16 (ASCE, 2016), ASCE/SEI 7-10 (ASCE, 2010), Vamvatsikos y Cornell (2002) y FEMA-350 (FEMA, 2000). El comportamiento de la estructura entonces se evalúa mediante una serie de indicadores como los patrones de deformación deseada, desplazamiento máximo permitido y características de ductilidad, entre otros. No obstante, para integrar esto en una evaluación de riesgo, se debe realizar un paso más: traducir estos indicadores estructurales detallados en una medida más global (en términos de una estructura en su conjunto) que permite una cuantificación más amplia y entendible del daño. Para ello, pueden adoptarse tres enfoques principales: aplicar la teoría de la confiabilidad estructural, utilizar el enfoque de Hazus que requiere generar curvas de fragilidad (FEMA, sin fecha) y adoptar el enfoque de CAPRA que implica generar curvas de vulnerabilidad (ERN-AL, s.f. e). Es necesario construir curvas de fragilidad y curvas de vulnerabilidad como una función de la aceleración espectral (S_a) o desplazamiento espectral (S_d).

- En el primer enfoque, se aplica la teoría de la confiabilidad estructural a los análisis estructurales detallados para en última instancia calcular las probabilidades de falla o colapso (véase Wayan, 2012; Lazar y Dolsek, 2012; Franchin y otros, 2012; Todinov, 2008).
- Con respecto al segundo enfoque (curvas de fragilidad), la Figura 6.25 resume el proceso para construir estas curvas (véase FEMA, s.f. a; Zuloaga, 2014).

Figura 6.25. Procedimiento para construir curvas de fragilidad



1. Se selecciona un método de análisis estructural (ver métodos disponibles arriba) para modelar el comportamiento y la respuesta de la estructura a las demandas sísmicas. Esta respuesta se expresa a través de la Curva de Capacidad que es una representación gráfica de la capacidad de la estructura en términos de deformación con movimiento de suelo cada vez mayor (en general estas curvas muestran el desplazamiento del techo o desplazamiento espectral versus la aceleración espectral).
2. Se obtienen parámetros críticos de la Curva de Capacidad que incluyen los puntos de fluencia y máximos, y luego se determinan los estados de daño con base en estos parámetros. Como resultado de ello, se representan los cinco estados de daño (ninguno, leve, moderado, severo y colapso) mediante umbrales de valores de desplazamiento espectral.
3. Se asigna una distribución de probabilidades lognormal a los estados de daño para los cuales se determinan los momentos estadísticos correspondientes (mediana y desviación estándar) y se computan los parámetros de distribución.
4. La función de probabilidades acumuladas que representa la probabilidad de estar o superar un estado de daño en particular pasa a ser la función de fragilidad. Se obtienen cinco funciones de fragilidad, una para cada estado de daño. Luego a partir de estas curvas pueden computarse probabilidades discretas de estar exactamente en un estado de daño en particular y se las almacena en la denominada Matriz de Probabilidad de Daño.

Se pueden construir curvas de fragilidad para la estructura, para componentes no estructurales sensibles a la deriva (muros no portantes/particiones, paneles de muros exteriores, revestimientos y acabados) y componentes no estructurales sensibles a la aceleración (elementos en voladizo y parapetos, apéndices y ornamentos, estantes y gabinetes, sistemas de tuberías, tanques de al-

macenamiento, sistemas de climatización, elevadores y apliques de luz).

La última consideración es un aumento en el daño completo por deformación del suelo debido a sensibilidad a la licuefacción y al deslizamiento de tierra. Los activos expuestos a estas dos amenazas inducidas por los terremotos deben tener un aumento en la probabilidad de daño completo y una disminución proporcional en otras probabilidades. El aumento de la probabilidad sigue las siguientes tablas.

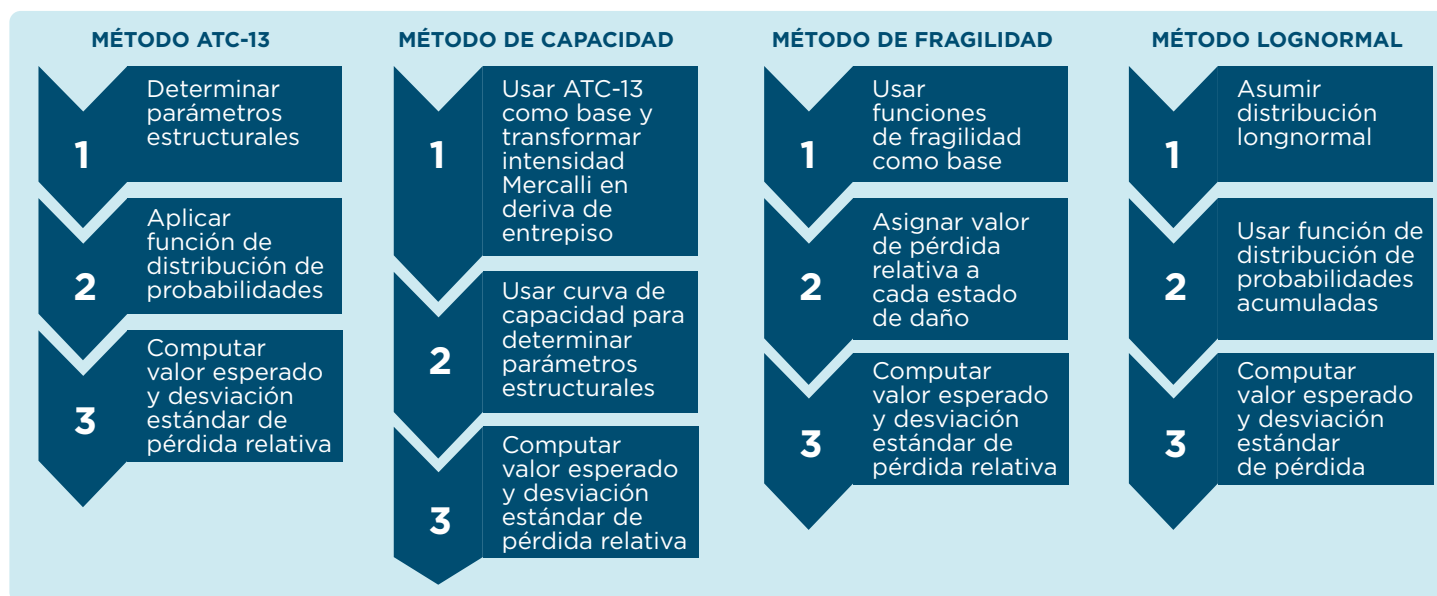
Tabla 6.8. Consideraciones sobre licuefacción y deslizamiento de tierra

Amplification Factors Liquefaction Landslide			
Table			
	Susceptibility	Class	Proportion
1	0 None - Dry		0.00
2	1 None - Wet		0.01
3	2 Very Low - Dry		0.02
4	3 Very low - Wet		0.03
5	4 Low - Dry		0.05
6	5 Low - wet		0.08
7	6 Moderate - Dry		0.10
8	7 Moderate - Wet		0.15
9	8 High - Dry		0.20
10	9 High - Wet		0.25
11	10 Very High		0.30

Fuente: (Hazus 4.2 2018).

Por último, el daño a los contenidos y al inventario comercial se basa en la probabilidad de estado de daño estructural.

- c. Para el tercer enfoque (curvas de vulnerabilidad) existen diversos métodos para construir las, incluidos al menos los siguientes: (i) método ATC-13, (ii) método de capacidad, (iii) método de fragilidad y (iv) método lognormal. La Figura 6.26 resume los diferentes procesos para construir las curvas (véase ERN-AL, s.f. e; Cardona y otros, 2017a).

Figura 6.26. Procedimiento para construir curvas de vulnerabilidad

En el método ATC-13, se utiliza el informe ATC-13 (datos de evaluación de daños por terremotos para California) para determinar los daños asociados a demandas sísmicas en términos de la escala de intensidad Mercalli (véase ATC, 1985).

En el método de capacidad el ATC-13 se utiliza como base pero se lo modifica para utilizar la curva de capacidad para determinar parámetros estructurales y transformar de intensidad Mercalli a deriva de entrepiso. Como resultado de ello, la ecuación dada por ATC-13 es modificada por una lista de parámetros (véase Miranda, 1999; Ordaz, 2000).

En el método de fragilidad, las curvas de fragilidad se utilizan como base a las cuales se les asignan valores de pérdida relativa a los diferentes estados de daño y luego se computa el valor esperado de la pérdida (véase Ordaz, 2008; Barbat y otros, s.f.; CIMNE y otros, 2013; Zuloaga, 2014).

En el método lognormal se asume que el valor esperado de la pérdida relativa puede computarse utilizando la función de probabilidad acumulada de una distribución lognormal (véase Cardona y otros, 2017a).

En el caso de la evaluación de riesgo probabilista (utilizando una evaluación de amenaza pro-

babilista correspondiente), cualquiera de los tres enfoques ya detallados ofrece el tratamiento probabilista requerido para el componente de vulnerabilidad. Este enfoque sobre vulnerabilidad debe utilizarse con el enfoque de evaluación de la amenaza probabilista y con el enfoque de exposición detallado para activos individuales para obtener una evaluación de riesgo probabilista.

Para una evaluación determinista del riesgo (y utilizando una correspondiente evaluación determinista de la amenaza), los valores medios de daños o estados de daños estimados luego de realizar el análisis estructura con respecto a una demanda sísmica determinada pueden considerarse ciertos (sin considerar la incertidumbre). Como resultado de ello, el comportamiento de la estructura se toma directamente de los análisis estructurales que, a su vez, son realizados por una única sollicitación sísmica (y asumidos como ciertos) y sin considerar la incertidumbre en el problema o diseño de ingeniería. Este enfoque sobre vulnerabilidad debe utilizarse con el enfoque de evaluación de la amenaza determinista y con el enfoque de exposición detallado para activos individuales para obtener una evaluación de riesgo determinista.

Evaluación topológica (para múltiples activos):

se utiliza las funciones de fragilidad y/o vulnerabilidad existentes. Utilizando las características ya mencionadas que determinan la vulnerabilidad sísmica (sistema estructural, etc.), se identifica las funciones de daño que son adecuadas para las diferentes tipologías de estructuras existentes. La Tabla 6.6 ofrece recursos disponibles relacionados con funciones de vulnerabilidad y fragilidad. Si la base de datos de exposición está espacialmente individualizada (aunque los activos se encuentren agrupados por tipologías, los activos individuales, por ejemplo, edificio por edificio, son identificados y se les asigna una tipología), entonces cada estructura individual debe tener una curva asignada. Si los activos expuestos tuviesen una mayor agregación espacial (por ej., en manzanas, barrios, municipalidades), en lugar de asignar curvas a estructuras individuales, los tipos edilicios son agrupados por superficie y se asignan funciones de vulnerabilidad o fragilidad a las unidades agrupadas que representan la tipología promedio o más representativa presente dentro del grupo.

En el caso de una evaluación probabilista del riesgo, las curvas de fragilidad y/o vulnerabilidad seleccionadas deben utilizarse con su representación probabilista completa (en el caso de las curvas de vulnerabilidad esto significa incluir también la función de desviación estándar en los cálculos de riesgo). Este enfoque sobre vulnerabilidad debe utilizarse con el enfoque de evaluación de la amenaza probabilista y con el enfoque de exposición representativo para activos agregados para obtener una evaluación de riesgo probabilista.

En el caso de una evaluación de riesgo determinista, se pueden utilizar valores medios de daños o estados de daños de las curvas de vulnerabilidad y/o fragilidad. Este enfoque sobre vulnerabilidad debe utilizarse con el enfoque de evaluación de la amenaza determinista y con el enfoque de exposición representativo para activos agregados para obtener una evaluación de riesgo determinista.

Para determinar los valores de pérdida porcentuales con diferentes estados de daño y tipología, se puede utilizar la Tabla 6.9. Para determinar pérdidas en el contenido de los edificios y pérdidas en el inventario comercial se puede utilizar la Tabla 6.10 que incluye valores dependientes del estado de daño estructural. Para crear o asignar funciones de pérdida de uso, utiliza los valores generales presentados en la Tabla 6.7 de acuerdo a estados de daño aproximado para diversos sectores.

Tabla 6.9. Pérdidas estructurales y no estructurales ocasionadas por terremotos basadas en probabilidades de estados de daño y tipos de ocupación

Descripción	Estructural				Sensible a la aceleración				Sensible a la deriva			
	Leve	Moderado	Amplio	Completo	Leve	Moderado	Amplio	Completo	Leve	Moderado	Amplio	Completo
Agricultura	0,8	4,6	23,1	46,2	0,8	4,6	13,8	46,1	0	0,8	3,8	7,7
Comercio minorista	0,6	2,9	14,7	29,4	0,8	4,4	12,9	43,1	0,6	2,7	13,8	27,5
Estacionamiento	1,3	6,1	30,4	60,9	0,3	2,2	6,5	21,7	0,4	1,7	8,7	17,4
Comercio mayorista	0,6	3,2	16,2	32,4	0,8	4,2	12,4	41,1	0,6	2,6	13,2	26,5
Servicios personales y reparación	0,3	1,6	8,1	16,2	1	5	15	50	0,7	3,4	16,9	33,8
Servicios profesionales/técnicos	0,4	1,9	9,6	19,2	0,9	4,8	14,4	47,9	0,7	3,3	16,4	32,9
Bancos	0,3	1,4	6,9	13,8	1	5,2	15,5	51,7	0,7	3,4	17,2	34,5
Hospitales	0,2	1,4	7	14	1	5,1	15,4	51,3	0,8	3,5	17,4	34,7
Consultorio médico/clínica	0,3	1,4	7,2	14,4	1	5,2	15,3	51,2	0,7	3,4	17,2	34,4
Entretenimiento y recreación	0,2	1	5	10	1,1	5,4	16,3	54,4	0,7	3,6	17,8	35,6
Teatros	0,3	1,2	6,1	12,2	1	5,3	15,8	52,7	0,7	3,5	17,6	35,1
Escuelas primarias	0,4	1,9	9,5	18,9	0,7	3,2	9,7	32,4	0,9	4,9	24,3	48,7
Terciarios /universidades	0,2	1,1	5,5	11	0,6	2,9	8,7	29	1,2	6	30	60
Servicios generales	0,3	1,8	9	17,9	1	4,9	14,8	49,3	0,7	3,3	16,4	32,8
Respuesta ante emergencias	0,3	1,5	7,7	15,3	1	5,1	15,1	50,5	0,7	3,4	17,1	34,2
Alta	0,4	1,6	7,8	15,7	1,4	7,2	21,8	72,5	0,2	1,2	5,9	11,8
Leve	0,4	1,6	7,8	15,7	1,4	7,2	21,8	72,5	0,2	1,2	5,9	11,8
Alimentos/medicamentos químicos	0,4	1,6	7,8	15,7	1,4	7,2	21,8	72,5	0,2	1,2	5,9	11,8
Procesamiento metales/minerales	0,4	1,6	7,8	15,7	1,4	7,2	21,8	72,5	0,2	1,2	5,9	11,8
Alta tecnología	0,4	1,6	7,8	15,7	1,4	7,2	21,8	72,5	0,2	1,2	5,9	11,8
Construcción	0,4	1,6	7,8	15,7	1,4	7,2	21,8	72,5	0,2	1,2	5,9	11,8
Iglesias y otras org. sin fines de lucro	0,3	2	9,9	19,8	0,9	4,7	14,3	47,6	0,8	3,3	16,3	32,6
Unidad unifamiliar	0,5	2,3	11,7	23,4	0,5	2,7	8	26,6	1	5	25	50
Vivienda fábril	0,4	2,4	7,3	24,4	0,8	3,8	11,3	37,8	0,8	3,8	18,9	37,8
Dúplex	0,3	1,4	6,9	13,8	0,8	4,3	13,1	43,7	0,9	4,3	21,3	42,5
Tríplex/cuádruplex	0,3	1,4	6,9	13,8	0,8	4,3	13,1	43,7	0,9	4,3	21,3	42,5
Multi habitacionales (5 - 9 u)	0,3	1,4	6,9	13,8	0,8	4,3	13,1	43,7	0,9	4,3	21,3	42,5
Multi habitacionales (10 - 19 u)	0,3	1,4	6,9	13,8	0,8	4,3	13,1	43,7	0,9	4,3	21,3	42,5
Multi habitacionales (20 - 49 u)	0,3	1,4	6,9	13,8	0,8	4,3	13,1	43,7	0,9	4,3	21,3	42,5
Multi habitacionales (+50 u)	0,3	1,4	6,9	13,8	0,8	4,3	13,1	43,7	0,9	4,3	21,3	42,5
Alojamiento temporario	0,2	1,4	6,8	13,6	0,9	4,3	13	43,2	0,9	4,3	21,6	43,2
Dormitorios institucionales	0,4	1,9	9,4	18,8	0,8	4,1	12,4	41,2	0,8	4	20	40
Asilo	0,4	1,8	9,2	18,4	0,8	4,1	12,2	40,8	0,8	4,1	20,4	40,8

Fuente: Hazus 4.2 (2018).

Tabla 6.10. Pérdidas en el contenido y en el inventario comercial ocasionadas por terremotos basadas en probabilidades de estados de daño y tipos de ocupación

Ocupación	Pérdida de contenido (%)				Pérdida de inventario (%)			
	Leve	Moderado	Amplio	Completo	Leve	Moderado	Amplio	Completo
Agricultura	1	5	25	50	1	5	25	50
Comercio minorista	1	5	25	50	1	5	25	50
Estacionamiento	1	5	25	50				
Comercio mayorista	1	5	25	50	1	5	25	50
Servicios personales y reparación	1	5	25	50				
Servicios profesionales/técnicos	1	5	25	50				
Bancos	1	5	25	50				
Hospitales	1	5	25	50				
Consultorio médico/clínica	1	5	25	50				
Entretenimiento y recreación	1	5	25	50				
Teatros	1	5	25	50				
Escuelas primarias	1	5	25	50				
Terciarios /universidades	1	5	25	50				
Servicios generales	1	5	25	50				
Respuesta ante emergencias	1	5	25	50				
Alta	1	5	25	50	1	5	25	50
Leve	1	5	25	50	1	5	25	50
Alimentos/medicamentos/químicos	1	5	25	50	1	5	25	50
Procesamiento metales/minerales	1	5	25	50	1	5	25	50
Alta tecnología	1	5	25	50	1	5	25	50
Construcción	1	5	25	50	1	5	25	50
Iglesias y otras org. sin fines de lucro	1	5	25	50				
Unidad unifamiliar	1	5	25	50				
Vivienda fábril	1	5	25	50				
Dúplex	1	5	25	50				
Tríplex/cuádruplex	1	5	25	50				
Multi habitacionales (5 - 9 u)	1	5	25	50				
Multi habitacionales (10 - 19 u)	1	5	25	50				
Multi habitacionales (20 - 49 u)	1	5	25	50				
Multi habitacionales (+50 u)	1	5	25	50				
Multi habitacionales	1	5	25	50				
Dormitorios institucionales	1	5	25	50				
Asilo	1	5	25	50				

Fuente: Hazus 4.2 (2018).

Inundación (todos los tipos excepto Tsunami)

Al igual que en el caso de los terremotos, la mayoría de las estructuras son vulnerables a las inundaciones y ciertos tipos de estructuras son más o menos vulnerables que otras. A diferencia del caso de terremotos, es improbable que un edificio sufra daño estructural por inundación (salvo que el agua tome altas velocidades y/o arrastre escombros que pueden causar un impacto estructural); solo los componentes no estructurales, los acabados y el contenido sufren daños. Por lo tanto, en el caso de los edificios las principales características que afectan su vulnerabilidad incluyen el material de muros y pisos, el tipo de cimentación, la elevación del primer piso con respecto al suelo y la cantidad de pisos. En este caso, la presencia de activos críticos en los primeros pisos también es una característica clave (esto es importante en el caso de instalaciones críticas como hospitales). Por otra parte, en el caso de los puentes, un evento de inundación puede causar daño estructural en la cimentación, en los pilotes o en los estribos, por ejemplo. Por lo tanto, el sistema estructural (por ej., cantidad de luces y presencia de pilares) y la altura libre son características que indican vulnerabilidad. Análogamente en el caso de vías, la inundación puede dañar estructuralmente la estructura de base de la vía, erosionando o arrasando los terraplenes. La infraestructura de suministro de agua y saneamiento en general no es muy vulnerable pero las tuberías que están diseñadas para trabajar no presurizadas pueden sufrir daños si se vuelven presurizadas.

A continuación se ofrecen detalles sobre la aplicación de los dos métodos de evaluación de vulnerabilidad (modelado estructural detallado y evaluación topológica).

Modelación estructural detallada (para activos individuales): en general, la respuesta de una infraestructura a la inundación debe analizarse utilizando técnicas de ingeniería específicas para el tipo de in-

fraestructura. También se puede aplicar la teoría de la confiabilidad estructural para realizar estos análisis, especialmente en el caso de los puentes, donde el daño estructural constituye una preocupación. A partir de ello se pueden crear curvas de vulnerabilidad para la infraestructura específica que se esté analizando utilizando datos empíricos o analíticos para determinar qué niveles de daño y pérdida relativa (pérdidas con relación al costo de reemplazar la estructura) se asocian a niveles cada vez mayores de altura de inundación. En los casos de inundación torrencial, la velocidad de flujo puede ser importante también y por este motivo las curvas de vulnerabilidad creadas también deben reflejar el daño relativo en respuesta a la velocidad de flujo. Ambos métodos, el de Hazus y el de CAPRA, utilizan también curvas de vulnerabilidad, aunque Hazus las llama funciones de profundidad-daño (véase FEMA, s.f. b; ERN-AL, s.f. e).

En las evaluaciones de riesgo probabilistas, la evaluación de vulnerabilidad debe realizarse también de forma probabilista, utilizando curvas de vulnerabilidad de la confiabilidad estructural del edificio que consideran este aspecto. Este enfoque sobre vulnerabilidad debe utilizarse con el enfoque de evaluación de la amenaza probabilista y con el enfoque de exposición detallado para activos individuales para obtener una evaluación de riesgo probabilista.

Para una evaluación determinista del riesgo (y utilizando una correspondiente evaluación determinista de la amenaza), los valores medios de daños o estados de daños estimados luego de realizar el análisis estructura con respecto a una demanda por inundación determinada pueden considerarse ciertos (sin considerar la incertidumbre). Como resultado de ello, el comportamiento de la estructura se toma directamente de los análisis que, a su vez, son realizados por una única solicitud por inundación (y asumidos como ciertos) y sin considerar la incertidumbre en el problema o diseño de ingeniería. Este enfoque sobre vulnerabilidad debe utilizarse con el enfoque de evaluación de la amenaza determinista y con el enfoque de exposición detallado para activos individuales para obtener una evaluación de riesgo determinista.

Evaluación topológica (para múltiples activos):

utiliza funciones de vulnerabilidad existentes (también denominadas funciones de profundidad-daño). Utilizando las características ya mencionadas que determinan la vulnerabilidad por inundación, se identifica las funciones de daño que son adecuadas para las diferentes tipologías de estructuras existentes. La Tabla 6.6 ofrece recursos disponibles relacionados con funciones de vulnerabilidad. Tanto la plataforma de Hazus como la de CAPRA utilizan funciones de vulnerabilidad y ofrecen recursos, incluidas funciones de pérdida de uso (véase también ERN-AL, s.f. e y FEMA, s.f. b), y la Unión Europea también lo hace a través del Joint Research Center de la Comisión Europea (Huizinga y otros, 2017). Si la base de datos de exposición está espacialmente individualizada (aunque los activos se encuentren agrupados por tipologías, los activos individuales, por ejemplo, edificio por edificio, son identificados y se les asigna una tipología), entonces cada estructura individual debe tener una curva asignada. Si los activos expuestos tuviesen una mayor agregación espacial (por ej., en manzanas, barrios, municipalidades), en lugar de asignar curvas a estructuras individuales, los tipos edilicios son agrupados por superficie y se asignan funciones de vulnerabilidad a las unidades agrupadas que representan la tipología promedio o más representativa presente dentro del grupo.

En el caso de una evaluación probabilista del riesgo, las curvas de vulnerabilidad seleccionadas deben utilizarse con su representación probabilista completa (en el caso de las curvas de vulnerabilidad esto significa incluir también la función de desviación estándar en los cálculos de riesgo). Este enfoque sobre vulnerabilidad debe utilizarse con el enfoque de evaluación de la amenaza probabilista y con el enfoque de exposición representativo para activos agregados para obtener una evaluación de riesgo probabilista.

En el caso de una evaluación de riesgo determinista, se pueden utilizar valores medios de daños o estados de daños de las curvas de vulnerabilidad. Este enfoque sobre vulnerabilidad debe utilizarse con el enfoque de evaluación de la amenaza determinista y con el enfoque de exposición representativo para activos agregados para obtener una evaluación de riesgo determinista.

Análisis histórico de línea de tiempo: la última opción, aplicable únicamente al sector agrícola, es el método simple utilizado en el documento *Agricultural Sector Risk Assessment: Methodological Guidance for Practitioners* desarrollado por el Banco Mundial (2016). Con este enfoque del riesgo la vulnerabilidad es tratada implícitamente mediante una correlación y causalidad supuesta entre una disminución observada en la productividad y la ocurrencia concurrente de un evento. No deben realizarse actividades sobre vulnerabilidad explícitas para esta evaluación de riesgo. Véase la evaluación simplificada de riesgo agrícola en la sección **Análisis histórico de línea de tiempo bajo el resumen de métodos de cálculo del riesgo** para obtener más detalles sobre cálculo de riesgo.

En el caso de la inundación las funciones de pérdida de uso se basan en la profundidad del agua. A continuación consta un ejemplo de función de pérdida de uso. Si el valor de la profundidad de la inundación se ubica entre cero y cuatro pies, la pérdida de uso es de 360 días.

Tabla 6.11. Tabla de pérdida de uso por inundación

Occupancy: RES1

Time	SpecificOccupancy	MinimumDepth	MaximumDepth	MaximumDaysForRestoration
1	RES1	4	0	180
2	RES1	0	4	360
3	RES1	4	8	450
4	RES1	8	24	720

Fuente: (Hazus 4.2 2018).

Viento huracanado



El viento es una carga horizontal tratada de forma similar a los terremotos en el diseño de estructuras, en especial si se trata de estructuras en altura. Por lo tanto, las características importantes de los edificios y puentes incluyen la tipología estructural o el sistema estructural y su sistema de resistencia de fuerzas laterales (por ej., estructura resistente al momento versus estructuras arriostradas), periodo de vibración estructural (esto incluye implícitamente

te la altura de la estructura) y tipo de cubierta. Además de esto, los elementos no estructurales tienden a sufrir aún más que los estructurales, por lo que los elementos de anclaje para elementos no estructurales, las persianas y las correas contra huracanes también son características importantes. La infraestructura bajo tierra, como las redes de tuberías, o la infraestructura baja sobre el suelo, como las vías, no son vulnerables a esta amenaza.

A continuación se ofrecen detalles sobre la aplicación de los dos métodos de evaluación de vulnerabilidad (modelado estructural detallado y evaluación topológica).

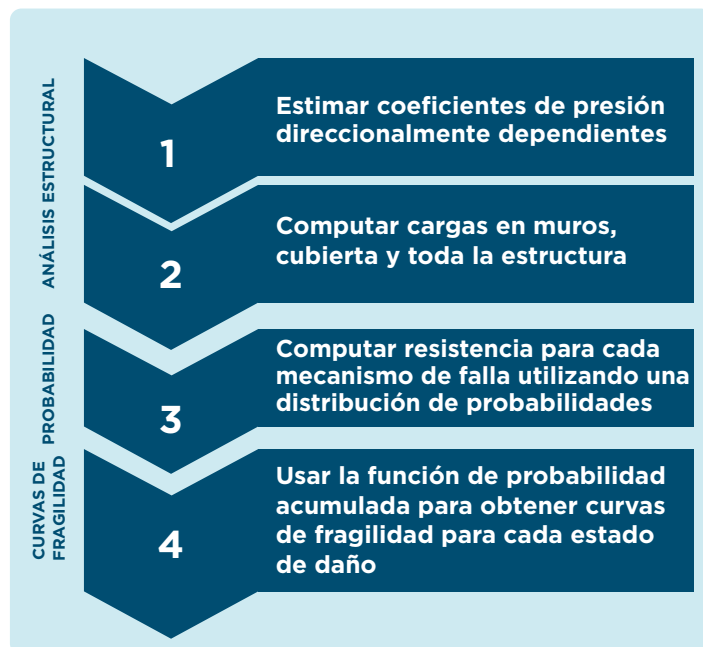
Modelación estructural detallada (para activos individuales): deben utilizarse técnicas de ingeniería estructural para modelar la respuesta de la estructura a las demandas de viento. Existe una amplia variedad de métodos y técnicas para hacerlo, debido a que esto ha sido siempre un aspecto esencial en la práctica de la ingeniería. En este contexto, el componente de vulnerabilidad de una evaluación de riesgo corresponde al análisis estructural en el lenguaje tradicional de la ingeniería.

Análogamente a la vulnerabilidad sísmica analizada antes, para poder integrar esto a una evaluación de riesgo, el análisis estructural debe traducirse a una medida del daño. Para ello, pueden adoptarse tres mismos enfoques principales: aplicar la teoría de la confiabilidad estructural, utilizar el enfoque de Hazus que requiere generar curvas de fragilidad (FEMA, sin fecha) y adoptar el enfoque de CAPRA que implica generar curvas de vulnerabilidad (ERNAL, s.f. e). Es necesario construir curvas de fragilidad y curvas de vulnerabilidad como una función de velocidad máxima de ráfaga de viento.

- a. En el primer enfoque, se aplica la teoría de la confiabilidad estructural a los análisis estructurales detallados para en última instancia calcular las probabilidades de falla o colapso (véase Wayan, 2012; Lazar y Dolsek, 2012; Franchin y otros, 2012; Todinov, 2008).
- b. Con respecto al segundo enfoque (curvas de fragilidad), la Figura 6.27 resume el proceso para

construir estas curvas (véase Hazus Hurricane Model Technical Manual, FEMA, s.f. c).

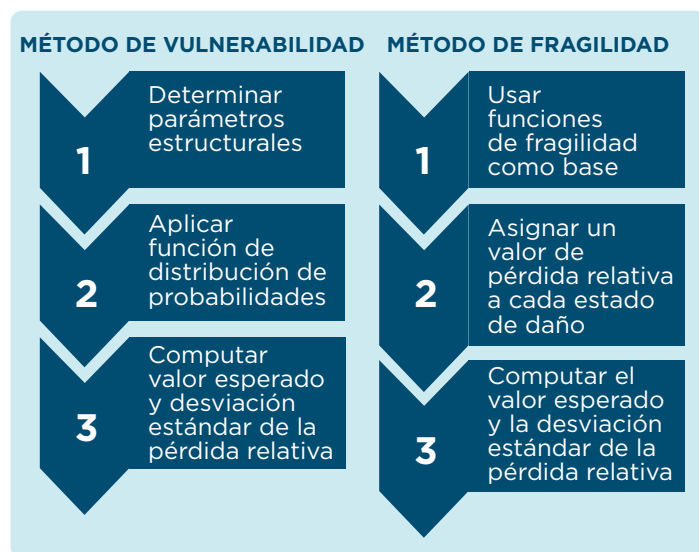
Figura 6.27. Procedimiento para construir curvas de fragilidad



1. Se selecciona un método de análisis estructural para modelar el comportamiento y la respuesta de la estructura a las demandas de viento. Esta respuesta se expresa mediante coeficientes de presión que dependen de la direccionalidad de la carga. Estos coeficientes se calculan para todos los componentes del edificio y el revestimiento.
2. Luego se computan las cargas sobre los muros, la cubierta y el edificio entero para evaluar fallas de muros, fallas en la unión entre la cubierta y los muros y fallas en la cimentación.
3. Se evalúan los modos o mecanismos de falla individuales y se determina la resistencia de la estructura. Se asigna una distribución de probabilidades (en general una distribución lognormal, aunque también puede ser una distribución de Weibull, normal u otras) a los estados de daño para los cuales se determinan los momentos estadísticos relevantes (mediana y desviación estándar) y se computan los parámetros de la distribución.

4. La función de probabilidades acumuladas que representa la probabilidad de estar o superar un estado de daño para una velocidad máxima de ráfaga de viento determinada pasa a ser la función de fragilidad. Se obtienen funciones de fragilidad, una para cada estado de daño. Luego a partir de estas curvas pueden computarse probabilidades discretas de estar exactamente en un estado de daño en particular y se las almacena en la denominada Matriz de Probabilidad de Daño.
- c. Para el tercer enfoque pueden construirse curvas de vulnerabilidad. La Figura 6.28 resume el proceso a seguir para construir estas curvas. Se debe tener en cuenta que existen dos métodos posibles; el primero consiste en construir curvas de vulnerabilidad directamente a partir de los análisis estructurales (véase ERN-AL, s.f. e) y el segundo consiste en transformar curvas de fragilidad en curvas de vulnerabilidad (véase Cardona y otros, 2015).

Figura 6.28. Procedimiento para construir curvas de vulnerabilidad



En el método de vulnerabilidad se asume que la pérdida relativa sigue una distribución Beta a partir de la cual se determinan el valor esperado y la desviación estándar, que representan la curva de vulnerabilidad, que es una función de la velocidad máxima de las ráfagas de viento (véase ERN-AL, s.f. e; Cardona y otros, 2013).

En el método de fragilidad, las curvas de fragilidad se utilizan como base a las cuales se les asignan valores de pérdida relativa a los diferentes estados de daño y luego se computa el valor esperado de la pérdida (véase Cardona y otros, 2015; CIMNE y otros, 2013).

En el caso de la evaluación de riesgo probabilista (utilizando una evaluación de amenaza probabilista correspondiente), cualquiera de los tres enfoques detallados anteriormente ofrece el tratamiento probabilista requerido para el componente de vulnerabilidad. Este enfoque sobre vulnerabilidad debe utilizarse con el enfoque de evaluación de la amenaza probabilista y con el enfoque de exposición detallado para activos individuales para obtener una evaluación de riesgo probabilista.

Para una evaluación determinista del riesgo (y utilizando una correspondiente evaluación determinista de la amenaza), los valores medios de daños o estados de daños estimados luego de realizar el análisis estructura con respecto a una demanda por viento determinada pueden considerarse ciertos (sin considerar la incertidumbre). Como resultado de ello, el comportamiento de la estructura se toma directamente de los análisis estructurales que, a su vez, son realizados por una única sollicitación producida por viento (y asumidos como ciertos) y sin considerar la incertidumbre en el problema o diseño de ingeniería. Este enfoque sobre vulnerabilidad debe utilizarse con el enfoque de evaluación de la amenaza determinista y con el enfoque de exposición detallado para activos individuales para obtener una evaluación de riesgo determinista.

Evaluación topológica (para múltiples activos):

se utiliza las funciones de fragilidad y/o vulnerabilidad existentes. Utilizando las características ya mencionadas que determinan la vulnerabilidad por viento huracanado, identifica las funciones de daño que son adecuadas para las diferentes tipologías de estructuras existentes. La Tabla 6.7 ofrece recursos disponibles relacionados con funciones de vulnerabilidad y fragilidad. Si la base de datos de exposición está espacialmente individualizada (aunque los activos se encuentren agrupados por tipologías, los activos individuales, por ejemplo, edificio por edifi-

cio, son identificados y se les asigna una tipología), entonces cada estructura individual debe tener una curva asignada. Si los activos expuestos tuviesen una mayor agregación espacial (por ej., en manzanas, barrios, municipalidades), en lugar de asignar curvas a estructuras individuales, los tipos edificios son agrupados por superficie y se asignan funciones de vulnerabilidad o fragilidad a las unidades agrupadas que representan la tipología promedio o más representativa presente dentro del grupo.

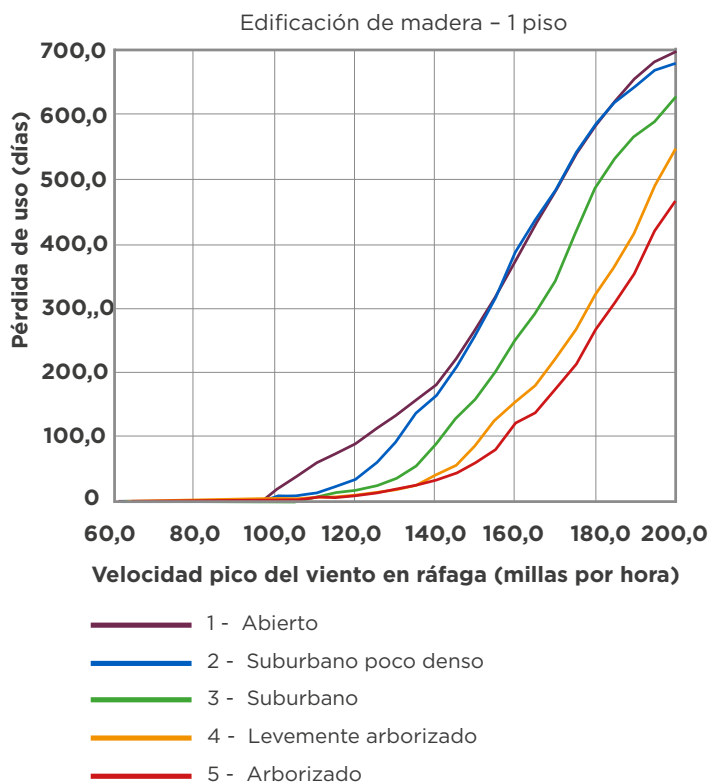
En el caso de una evaluación probabilista del riesgo, las curvas de fragilidad y/o vulnerabilidad seleccionadas deben utilizarse con su representación probabilista completa (en el caso de las curvas de vulnerabilidad esto significa incluir también la función de desviación estándar en los cálculos de riesgo). Este enfoque sobre vulnerabilidad debe utilizarse con el enfoque de evaluación de la amenaza probabilista y con el enfoque de exposición representativo para activos agregados para obtener una evaluación de riesgo probabilista.

En el caso de una evaluación de riesgo determinista, se pueden utilizar valores medios de daños o estados de daños de las curvas de vulnerabilidad y/o fragilidad. Este enfoque sobre vulnerabilidad debe utilizarse con el enfoque de evaluación de la amenaza determinista y con el enfoque de exposición representativo para activos agregados para obtener una evaluación de riesgo determinista.

Análisis histórico de línea de tiempo: la última opción, aplicable únicamente al sector agrícola, es el método simple utilizado en el documento *Agricultural Sector Risk Assessment: Methodological Guidance for Practitioners* desarrollado por el Banco Mundial (2016). Con este enfoque del riesgo la vulnerabilidad es tratada implícitamente mediante una correlación y causalidad supuesta entre una disminución observada en la productividad y la ocurrencia concurrente de un evento. No deben realizarse actividades sobre vulnerabilidad explícitas para esta evaluación de riesgo. Véase la evaluación simplificada de riesgo agrícola en la sección **Análisis histórico de línea de tiempo bajo el resumen de métodos de cálculo del riesgo** para obtener más detalles sobre cálculo de riesgo.

En el caso de viento huracanado, las funciones de pérdida de uso se basan en valores de velocidad del viento y valores relacionados con el terreno. A continuación consta un ejemplo de función de pérdida de uso.

Figura 6.29. Tabla de pérdida de uso por huracán



Fuente: (Hazus 4.2 2018).

Deslizamiento de tierra



En el caso de los edificios, las principales características son básicamente los materiales de construcción, el sistema estructural, el tipo de cimentación y la presencia de estructuras de estabilización de taludes. En el caso de infraestructura lineal, como las vías, la presencia y el tipo de estructuras de estabilización de taludes.

A continuación se ofrecen detalles sobre la aplicación de los dos métodos de evaluación de vulnerabilidad (modelado estructural detallado y evaluación topológica).

Modelado estructural detallado (para activos individuales): es menos común realizar o hallar funciones de daño para deslizamientos de tierra. No obstante, se puede utilizar técnicas de ingeniería estructural para modelar el comportamiento de una estructura bajo diferentes susceptibilidades al deslizamiento de tierra.

Por lo tanto, la cantidad de enfoques para modelar la vulnerabilidad de una estructura a deslizamientos de tierra es más limitada que en el caso de otras amenazas. Se puede utilizar el enfoque de confiabilidad estructural como así también el enfoque de CAPRA para generar curvas de vulnerabilidad (ERN-AL, s.f. e). Las curvas de vulnerabilidad deben construirse como una función de la inversa del factor de seguridad.

- a. En el primer enfoque, se aplica la teoría de la confiabilidad estructural a los análisis estructurales detallados para en última instancia calcular las probabilidades de falla o colapso (véase Waiyan, 2012; Lazar y Dolsek, 2012; Franchin y otros, 2012; Todinov, 2008).
- b. Para el segundo enfoque pueden construirse curvas de vulnerabilidad. Se asume que la pérdida relativa sigue una distribución Beta a partir de la cual se determinan el valor esperado y la desviación estándar, que representan la curva de vulnerabilidad, que es una función de la inversa del factor de seguridad (véase ERN-AL, s.f. e).

En el caso de la evaluación de riesgo probabilista (utilizando una evaluación de amenaza probabilista correspondiente), cualquiera de los dos enfoques detallados anteriormente ofrece el tratamiento probabilista requerido para el componente de vulnerabilidad. Este enfoque sobre vulnerabilidad no es muy común, pero si se lo utiliza se lo debe hacer con el enfoque de evaluación de la amenaza probabilista y con el enfoque de exposición detallado para activos individuales para obtener una evalua-

ción de riesgo probabilista.

Para una evaluación determinista del riesgo (y utilizando una correspondiente evaluación determinista de la amenaza), los valores medios de daños o estados de daños estimados luego de realizar el análisis estructura con respecto a un escenario determinado de susceptibilidad a deslizamiento de tierra pueden considerarse ciertos (sin considerar la incertidumbre). Como resultado de ello, el comportamiento de la estructura se toma directamente de los análisis estructurales que, a su vez, son realizados por una única situación de susceptibilidad a deslizamiento de tierra (y asumidos como ciertos) y sin considerar la incertidumbre en el problema o diseño de ingeniería. Este enfoque sobre vulnerabilidad debe utilizarse con el enfoque de evaluación de la amenaza determinista y con el enfoque de exposición detallado para activos individuales para obtener una evaluación de riesgo determinista.

Evaluación topológica (para múltiples activos): si bien no son comunes, se utiliza las funciones de vulnerabilidad existentes. Utilizando las características ya mencionadas que determinan la vulnerabilidad a deslizamiento de tierra, identifica las funciones de daño que son adecuadas para las diferentes tipologías de estructuras existentes. La Tabla 6.6 ofrece recursos disponibles relacionados con funciones de vulnerabilidad. Si la base de datos de exposición está espacialmente individualizada (aunque los activos se encuentren agrupados por tipologías, los activos individuales, por ejemplo, edificio por edificio, son identificados y se les asigna una tipología), entonces cada estructura individual debe tener una curva asignada. Si los activos expuestos tuviesen una mayor agregación espacial (por ej., en manzanas, barrios, municipalidades), en lugar de asignar curvas a estructuras individuales, los tipos edificios son agrupados por superficie y se asignan funciones de vulnerabilidad a las unidades agrupadas que representan la tipología promedio o más representativa presente dentro del grupo.

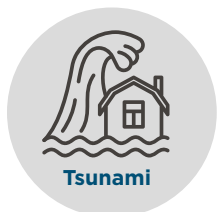
En el caso de una evaluación probabilista del riesgo, las curvas de vulnerabilidad seleccionadas deben utilizarse con su representación probabilista completa (en el caso de las curvas de vulnerabilidad

esto significa incluir también la función de desviación estándar en los cálculos de riesgo). Este enfoque sobre vulnerabilidad debe utilizarse con el enfoque de evaluación de la amenaza probabilista y con el enfoque de exposición representativo para activos agregados para obtener una evaluación de riesgo probabilista.

En el caso de una evaluación de riesgo determinista, se pueden utilizar valores medios de daños o estados de daños de las curvas de vulnerabilidad. Este enfoque sobre vulnerabilidad debe utilizarse con el enfoque de evaluación de la amenaza determinista y con el enfoque de exposición representativo para activos agregados para obtener una evaluación de riesgo determinista.

Para crear o asignar funciones de pérdida de uso, utiliza los valores generales presentados en la Tabla 6.7 de acuerdo a estados de daño aproximado para diversos sectores.

Tsunami



De manera similar a lo que ocurre con otros tipos de inundación, las principales características de una estructura que afectan su vulnerabilidad a inundación por tsunami incluyen el material de muros y pisos, el tipo de cimentación, la elevación del primer piso con respecto al suelo y la cantidad de pisos. En este caso, la presencia de activos críticos en los primeros pisos también es una característica clave (esto es importante en el caso de instalaciones críticas como hospitales). No obstante, además de los efectos de la inundación, los tsunamis también tienen un componente de fuerza lateral (flujo) que puede causar daño estructural adicional. Esto aplica también para los puentes, ya que un tsunami puede causar daño estructural en la cimentación, en los pilotes o en los estribos, por ejemplo. Por lo tanto, el sistema estructural (por ej., cantidad de luces y presencia de pilares) y la altura libre son características que indican vulnerabilidad. Análogamente en

el caso de vías, la inundación puede dañar estructuralmente la estructura de base de la vía, erosionando o arrasando los terraplenes. La infraestructura de suministro de agua y saneamiento en general no es muy vulnerable pero las tuberías que están diseñadas para trabajar no presurizadas pueden sufrir daños si se vuelven presurizadas.

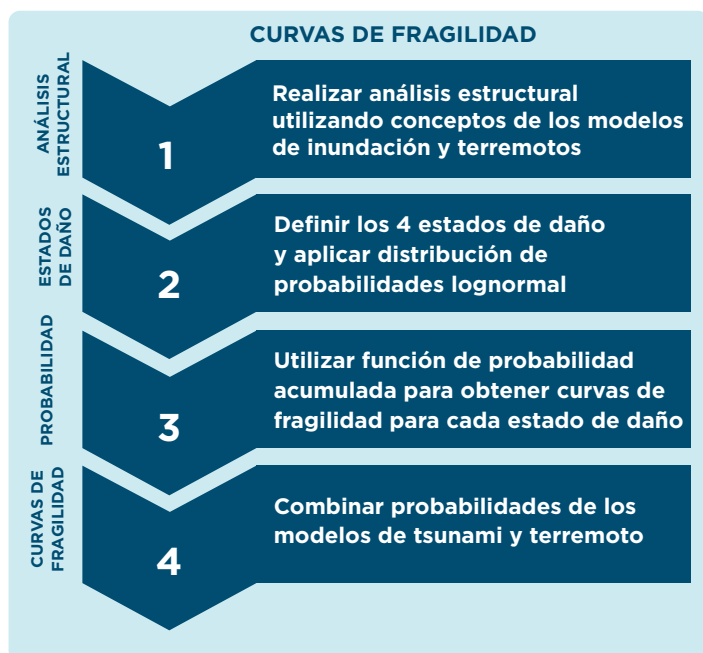
A continuación se ofrecen detalles sobre la aplicación de los dos métodos de evaluación de vulnerabilidad (modelado estructural detallado y evaluación topológica).

Modelado estructural detallado (para activos individuales): en general, la respuesta de una infraestructura a olas e inundación causada por tsunamis debe analizarse utilizando técnicas de ingeniería específicas para el tipo de infraestructura. La teoría de confiabilidad estructural también puede aplicarse para realizar estos análisis. Se puede realizar análisis estructurales utilizando datos empíricos o analíticos para determinar qué niveles de daño y pérdida relativa (pérdidas con relación al costo de reemplazar la estructura) se asocian a niveles cada vez mayores de altura de inundación y velocidad de flujo.

Para ello, pueden adoptarse tres enfoques principales: aplicar la teoría de la confiabilidad estructural, utilizar el enfoque de Hazus que requiere generar curvas de fragilidad (FEMA, 2017) y adoptar el enfoque de CAPRA que implica generar curvas de vulnerabilidad (ERN-AL, s.f. e). Tanto las curvas de fragilidad como las de vulnerabilidad deben construirse como una función de la altura del agua (m), velocidad del agua (m/s) o flujo (velocidad al cuadrado multiplicada por profundidad del agua - m^3/s^2).

- a. En el primer enfoque, se aplica la teoría de la confiabilidad estructural a los análisis estructurales detallados para en última instancia calcular las probabilidades de falla o colapso (véase Waiyan, 2012; Lazar y Dolsek, 2012; Franchin y otros, 2012; Todinov, 2008).
- b. Con respecto al segundo enfoque (curvas de fragilidad), la Figura 6.30 resume el proceso para construir estas curvas (véase FEMA, 2017; Suppasri y otros, 2013; NGI y GA, 2015).

Figura 6.30. Procedimiento para construir curvas de fragilidad



1. Se selecciona un método de análisis estructural para modelar el comportamiento y la respuesta de la estructura a inundación por tsunami y fuerzas laterales. Se valúa el daño (i) al sistema estructural, (ii) a componentes no estructurales y (iii) al contenido. Se realizan análisis separados para (i) inundación por tsunami y (ii) fuerzas laterales inducidas por tsunami (flujo). Para la inundación por tsunami, se utilizan los datos y métodos del Modelo de Inundación de Hazus, pero se los combinan con un enfoque más teórico y analítico para estimar el daño a los componentes no estructurales y al contenido. Para las fuerzas laterales inducidas por tsunami, el daño estructural se calcula utilizando conceptos de ingeniería de (i) FEMA-P646 *Guidelines for Design of Structures for Vertical Evacuation from Tsunamis* (FEMA, 2012), (ii) del enfoque de Curva de Capacidad utilizado en el Modelo de Terremoto de Hazus y (iii) de las cargas por inundación de ASCE 7-10 (ASCE, 2010).

2. Para el caso de la inundación por tsunami, los valores de daño medios para cada estado de daño se modifican con base en el Modelo de Inundación básico utilizando ecuaciones que realizan conversiones desde otros tipos de inundación a inundación por tsunami. Para el caso de flujo

de tsunami, se utilizan Curvas de Capacidad de Modelo del Terremoto y se las armoniza para las fuerzas laterales del tsunami. Con base en estos dos procesos, se determinan estados de daño en cada caso. Como resultado de esto, se representan los cuatro estados de daño (ninguno, moderado, amplio y completo) mediante umbrales de valores de altura del agua de inundación por tsunami y umbrales de valores de flujo de momento para flujo de tsunami. Luego se asigna una distribución de probabilidades lognormal a los estados de daño para los cuales se determinan los momentos estadísticos correspondientes (mediana y desviación estándar) y se computan los parámetros de distribución.

3. La función de probabilidades acumuladas que representa la probabilidad de estar o superar un estado de daño en particular pasa a ser la función de fragilidad. Se obtienen cuatro funciones de fragilidad, una para cada estado de daño (ninguno, moderado, amplio y completo) y cuatro curvas de fragilidad, a saber (i) inundación por tsunami como una función de la altura de inundación en metros y (ii) flujo de tsunami como una función del flujo de momento en m^3/s^2 . Luego a partir de estas curvas pueden computarse probabilidades discretas de estar exactamente en un estado de daño en particular y se las almacena en la denominada Matriz de Probabilidad de Daño.

4. Combinar probabilidades de estados de daño para los modelos de vulnerabilidad a tsunami y terremoto sin contabilizar por partida doble.

c. Para el tercer enfoque, el mismo método utilizado para otros tipos de inundación (ver sección anterior) también puede aplicarse a tsunami. Por lo tanto se puede crear curvas de vulnerabilidad para la infraestructura específica que se esté analizando utilizando datos empíricos o analíticos para determinar qué niveles de daño y pérdida relativa (pérdidas con relación al costo de reemplazar la estructura) se asocian a niveles cada vez mayores de altura de inundación. Para dar cuenta de la inundación torrencial inducida por las fuerzas laterales, también es importante la velocidad del flujo, y por lo tanto las curvas de vulnerabilidad generadas también deben reflejar el daño re-

lativo en respuesta a la velocidad del flujo (véase ERN-AL, s.f. e; Cardona y otros, 2015; Maqsood y otros, 2014; NGL&GA, 2015).

En el caso de la evaluación de riesgo probabilista (utilizando una evaluación de amenaza probabilista correspondiente), cualquiera de los tres enfoques detallados anteriormente ofrece el tratamiento probabilista requerido para el componente de vulnerabilidad. Este enfoque sobre vulnerabilidad debe utilizarse con el enfoque de evaluación de la amenaza probabilista y con el enfoque de exposición detallado para activos individuales para obtener una evaluación de riesgo probabilista.

Para una evaluación determinista del riesgo (y utilizando una correspondiente evaluación determinista de la amenaza), los valores medios de daños o estados de daños estimados luego de realizar el análisis estructura pueden considerarse ciertos (sin considerar la incertidumbre). Como resultado de ello, el comportamiento de la estructura se toma directamente de los análisis estructurales que, a su vez, son realizados por una única solicitud causada por inundación por tsunami y flujo de tsunami (y asumidos como ciertos) y sin considerar la incertidumbre en el problema o diseño de ingeniería. Este enfoque sobre vulnerabilidad debe utilizarse con el enfoque de evaluación de la amenaza determinista y con el enfoque de exposición detallado para activos individuales para obtener una evaluación de riesgo determinista.

Evaluación topológica (para múltiples activos): se utiliza las funciones de fragilidad y/o vulnerabilidad existentes. Utilizando las características ya mencionadas que determinan la vulnerabilidad a tsunami, identifica las funciones de daño que son adecuadas para las diferentes tipologías de estructuras existentes. La Tabla 6.6 presenta recursos disponibles con relación a la función de vulnerabilidad y fragilidad (véase también Maqsood y otros, 2014; Suppasri y otros, 2013). Si la base de datos de exposición está espacialmente individualizada (aunque los activos se encuentren agrupados por tipologías, los activos individuales, por ejemplo, edificio por edificio, son identificados y se les asigna una tipología), entonces cada estructura individual debe tener una cur-

va asignada. Si los activos expuestos tuviesen una mayor agregación espacial (por ej., en manzanas, barrios, municipalidades), en lugar de asignar curvas a estructuras individuales, los tipos edilicios son agrupados por superficie y se asignan funciones de vulnerabilidad o fragilidad a las unidades agrupadas que representan la tipología promedio o más representativa presente dentro del grupo.

En el caso de una evaluación probabilista del riesgo, las curvas de fragilidad y/o vulnerabilidad seleccionadas deben utilizarse con su representación probabilista completa (en el caso de las curvas de vulnerabilidad esto significa incluir también la función de desviación estándar en los cálculos de riesgo). Este enfoque sobre vulnerabilidad debe utilizarse con el enfoque de evaluación de la amenaza probabilista y con el enfoque de exposición representativo para activos agregados para obtener una evaluación de riesgo probabilista.

En el caso de una evaluación de riesgo determinista, se pueden utilizar valores medios de daños o estados de daños de las curvas de vulnerabilidad y/o fragilidad. Este enfoque sobre vulnerabilidad debe utilizarse con el enfoque de evaluación de la amenaza determinista y con el enfoque de exposición representativo para activos agregados para obtener una evaluación de riesgo determinista.

Para determinar los valores de pérdida estructural y no estructural porcentual con diferentes estados de daño y tipología, se puede utilizar la Tabla 6.12, mientras que la Tabla 6.13 contiene las pérdidas de contenido y por inventario. Para crear o asignar funciones de pérdida de uso, utiliza los valores generales presentados en la Tabla 6.7 de acuerdo a estados de daño aproximado para diversos sectores.

Tabla 6.12. Pérdidas estructurales y no estructurales ocasionadas por tsunamis basadas en probabilidades de estados de daño y tipos de ocupación

Ocupación	Estructural			No estructural		
	Moderado	Amplio	Completo	Moderado	Amplio	Completo
Agricultura	0,046	0,231	0,462	0,054	0,176	0,538
Comercio minorista	0,029	0,147	0,294	0,071	0,267	0,706
Estacionamiento	0,061	0,304	0,609	0,039	0,152	0,391
Comercio mayorista	0,032	0,162	0,324	0,068	0,256	0,676
Servicios personales y reparación	0,016	0,081	0,162	0,084	0,319	0,838
Servicios profesionales/técnicos	0,019	0,096	0,192	0,081	0,308	0,808
Bancos	0,014	0,069	0,138	0,086	0,327	0,862
Hospitales	0,014	0,07	0,14	0,086	0,328	0,86
Consultorio médico/clínica	0,014	0,072	0,144	0,086	0,325	0,856
Entretenimiento y recreación	0,01	0,05	0,1	0,09	0,341	0,9
Teatros	0,012	0,061	0,122	0,088	0,334	0,878
Escuelas primarias	0,019	0,095	0,189	0,081	0,34	0,811
Terciarios /universidades	0,011	0,055	0,11	0,089	0,387	0,89
Servicios generales	0,018	0,09	0,179	0,082	0,312	0,821
Respuesta ante emergencias	0,015	0,077	0,153	0,085	0,322	0,847
Alta	0,016	0,078	0,157	0,084	0,277	0,843
Leve	0,016	0,078	0,157	0,084	0,277	0,843
Alimentos/medicamentos/químicos	0,016	0,078	0,157	0,084	0,277	0,843
Procesamiento metales/minerales	0,016	0,078	0,157	0,084	0,277	0,843
Alta tecnología	0,016	0,078	0,157	0,084	0,277	0,843
Construcción	0,016	0,078	0,157	0,084	0,277	0,843
Iglesias y otras org. sin fines de lucro	0,02	0,099	0,198	0,08	0,306	0,802
Unidad unifamiliar	0,023	0,117	0,234	0,077	0,33	0,766
Vivienda fábril	0,024	0,073	0,244	0,076	0,302	0,756
Dúplex	0,014	0,069	0,138	0,086	0,344	0,862
Tríplex/cuádruplex	0,014	0,069	0,138	0,086	0,344	0,862
Multi habitacionales (5 - 9 u)	0,014	0,069	0,138	0,086	0,344	0,862
Multi habitacionales (10 - 19 u)	0,014	0,069	0,138	0,086	0,344	0,862
Multi habitacionales (20 - 49 u)	0,014	0,069	0,138	0,086	0,344	0,862
Multi habitacionales (+50 u)	0,014	0,069	0,138	0,086	0,344	0,862
Multi habitacionales	0,014	0,068	0,136	0,086	0,346	0,864
Dormitorios institucionales	0,019	0,094	0,188	0,081	0,324	0,812
Asilo	0,018	0,092	0,184	0,082	0,326	0,816

Fuente: Hazus 4.2 (2018).

Tabla 6.13. Pérdidas de contenido y de inventario ocasionadas por tsunamis basadas en probabilidades de estados de daño y tipos de ocupación

Ocupación	Contenidos			Inventario		
	Moderado	Amplio	Completo	Moderado	Amplio	Completo
Agricultura	0,05	0,25	1	5	25	50
Comercio minorista	0,05	0,25	1	5	25	50
Estacionamiento	0,05	0,25	1			
Comercio mayorista	0,05	0,25	1	5	25	50
Servicios personales y reparación	0,05	0,25	1			
Servicios profesionales/técnicos	0,05	0,25	1			
Bancos	0,05	0,25	1			
Hospitales	0,05	0,25	1			
Consultorio médico/clínica	0,05	0,25	1			
Entretenimiento y recreación	0,05	0,25	1			
Teatros	0,05	0,25	1			
Escuelas primarias	0,05	0,25	1			
Terciarios /universidades	0,05	0,25	1			
Servicios generales	0,05	0,25	1			
Respuesta ante emergencias	0,05	0,25	1			
Alta	0,05	0,25	1	5	25	50
Leve	0,05	0,25	1	5	25	50
Alimentos/medicamentos/químicos	0,05	0,25	1	5	25	50
Procesamiento metales/minerales	0,05	0,25	1	5	25	50
Alta tecnología	0,05	0,25	1	5	25	50
Construcción	0,05	0,25	1	5	25	50
Iglesias y otras org. sin fines de lucro	0,05	0,25	1			
Unidad unifamiliar	0,05	0,25	1			
Vivienda fábril	0,05	0,25	1			
Dúplex	0,05	0,25	1			
Tríplex/cuádruplex	0,05	0,25	1			
Multi habitacionales (5 - 9 u)	0,05	0,25	1			
Multi habitacionales (10 - 19 u)	0,05	0,25	1			
Multi habitacionales (20 - 49 u)	0,05	0,25	1			
Multi habitacionales (+50 u)	0,05	0,25	1			
Multi habitacionales	0,05	0,25	1			
Dormitorios institucionales	0,05	0,25	1			
Asilo	0,05	0,25	1			

Fuente: Hazus 4.2 (2018).

Volcanes



Con respecto a la caída de cenizas, la principal característica es el tipo de cubierta y el material utilizado, que determinan la capacidad portante de la cubierta de la estructura. En el caso de los flujos de lodo y lava, las características incluyen tipología o sistema estructural y material.

A continuación se ofrecen detalles sobre la aplicación de los dos métodos de evaluación de vulnerabilidad (modelado estructural detallado y evaluación topológica).

Modelado estructural detallado (para activos individuales):

no es muy común construir o encontrar funciones de daño para diferentes subamenazas volcánicas incluida la caída de cenizas, los flujos de lava y los flujos piroclásticos (o de lodo). No obstante, la plataforma de CAPRA ofrece enfoques simplificados para crear funciones de vulnerabilidad para estas subamenazas (véase ERN-AL, s.f. e).

En el caso de la caída de cenizas, se asume que el daño relativo sigue una distribución Beta y por lo tanto se le asigna esta distribución de probabilidades y se crean funciones de vulnerabilidad en términos de la profundidad total de la ceniza (acumulación de ceniza). Esto variará dependiendo del tipo de estructura y cubierta, considerando la capacidad portante de la cubierta (véase ERN-AL, s.f. e).

En el caso de las subamenazas más destructivas, que son los flujos de lava y los flujos piroclásticos, se adopta un enfoque simple donde las funciones de vulnerabilidad se consideran binarias: si la estructura está expuesta a una zona de alta probabilidad de impacto por parte de estas subamenazas, entonces el daño será completo (daño relativo del 100%), de lo contrario el daño será cero (daño relativo del 0%) (véase ERN-AL, s.f. e).

En el caso de la evaluación de riesgo probabilista (utilizando una evaluación de amenaza probabilista correspondiente), el enfoque detallado anteriormente ofrece el tratamiento probabilista requerido para el componente de vulnerabilidad. Este enfoque sobre vulnerabilidad no es muy común, pero si se lo utiliza se lo debe hacer con el enfoque de evaluación de la amenaza probabilista y con el enfoque de exposición detallado para activos individuales para obtener una evaluación de riesgo probabilista.

Para una evaluación determinista del riesgo (y utilizando una correspondiente evaluación determinista de la amenaza), los valores medios de daños o estados de daños estimados pueden considerarse ciertos (sin considerar la incertidumbre). Este enfoque sobre vulnerabilidad debe utilizarse con el enfoque de evaluación de la amenaza determinista y con el enfoque de exposición detallado para activos individuales para obtener una evaluación de riesgo determinista.

Evaluación topológica (para múltiples activos):

si bien no son comunes, utiliza las funciones de vulnerabilidad existentes. Utilizando las características ya mencionadas que determinan la vulnerabilidad a amenazas volcánicas, identifica las funciones de daño que son adecuadas para las diferentes tipologías de estructuras existentes. La Tabla 66 ofrece recursos disponibles relacionados con funciones de vulnerabilidad. Si la base de datos de exposición está espacialmente individualizada (aunque los activos se encuentren agrupados por tipologías, los activos individuales, por ejemplo, edificio por edificio, son identificados y se les asigna una tipología), entonces cada estructura individual debe tener una curva asignada. Si los activos expuestos tuviesen una mayor agregación espacial (por ej., en manzanas, barrios, municipalidades), en lugar de asignar curvas a estructuras individuales, los tipos edilicios son agrupados por superficie y se asignan funciones de vulnerabilidad a las unidades agrupadas que representan la tipología promedio o más representativa presente dentro del grupo.

En el caso de una evaluación probabilista del riesgo, las curvas de vulnerabilidad seleccionadas deben utilizarse con su representación probabilista com-

pleta (en el caso de las curvas de vulnerabilidad esto significa incluir también la función de desviación estándar en los cálculos de riesgo). Este enfoque sobre vulnerabilidad debe utilizarse con el enfoque de evaluación de la amenaza probabilista y con el enfoque de exposición representativo para activos agregados para obtener una evaluación de riesgo probabilista.

En el caso de una evaluación de riesgo determinista, se pueden utilizar valores medios de daños o estados de daños de las curvas de vulnerabilidad. Este enfoque sobre vulnerabilidad debe utilizarse con el enfoque de evaluación de la amenaza determinista y con el enfoque de exposición representativo para activos agregados para obtener una evaluación de riesgo determinista.

Para crear o asignar funciones de pérdida de uso, utiliza los valores generales presentados en la Tabla 6.7 de acuerdo a estados de daño aproximado para diversos sectores.

Incendio



En el caso del fuego en general, la principal característica es el material, que determina si un elemento es inflamable o no, y esto se aplica a edificios, puentes, tuberías y otros tipos de infraestructura. En general, la seguridad y protección contra incendios está bien integrada a la ingeniería estructural de las estructuras de acero (principalmente). Para ver ejemplos, puedes consultar ASCE/SEI 7-10 (ASCE, 2010) y ASCE/SEI 7-16 (ASCE, 2016).

A continuación se ofrecen detalles sobre la aplicación de los dos métodos de evaluación de vulnerabilidad (modelado estructural detallado y evaluación topológica).

Modelación estructural detallada (para activos individuales): en general, la respuesta de una

infraestructura al fuego debe analizarse utilizando técnicas de ingeniería específicas para el tipo de infraestructura. La teoría de confiabilidad estructural también puede aplicarse para realizar estos análisis. Debido a que históricamente esta amenaza no ha recibido el mismo tratamiento que el resto en términos de su incorporación en modelos y evaluaciones de riesgo bien establecidos, no es común encontrar métodos para construir curvas de fragilidad o vulnerabilidad. Sin embargo, en los últimos tiempos los investigadores han comenzado a desarrollar estos métodos. Para ver ejemplos consulta Gernay y otros (2018), Gernay y otros (2016), Khorasani y otros (2016), Gernay y otros (2015).

En las evaluaciones de riesgo probabilistas, la evaluación de vulnerabilidad debe realizarse también de forma probabilista, utilizando curvas de fragilidad de la confiabilidad estructural del edificio que consideran este aspecto. Este enfoque sobre vulnerabilidad debe utilizarse con el enfoque de evaluación de la amenaza probabilista y con el enfoque de exposición detallado para activos individuales para obtener una evaluación de riesgo probabilista.

Para una evaluación determinista del riesgo (y utilizando una correspondiente evaluación determinista de la amenaza), los valores medios de daño o estados de daño estimados luego de realizar el análisis estructural con respecto a un escenario determinado de incendio pueden considerarse ciertos (sin considerar la incertidumbre). Como resultado de ello, el comportamiento de la estructura se toma directamente de los análisis que, a su vez, son realizados para un único escenario de incendio (y asumidos como ciertos) y sin considerar la incertidumbre en el problema o diseño de ingeniería. Este enfoque sobre vulnerabilidad debe utilizarse con el enfoque de evaluación de la amenaza determinista y con el enfoque de exposición detallado para activos individuales para obtener una evaluación de riesgo determinista.

Evaluación topológica (para múltiples activos): si bien no son muy comunes, utiliza las funciones de fragilidad existentes. Utilizando las características ya mencionadas que determinan la vulnerabilidad a los

incendios, identifica funciones de daño adecuadas para las diferentes tipologías de estructura existentes (véase Gernay u otros, 2018; Gernay y otros 2016; Khorasani y otros, 2016; Gernay y otros, 2015). Si la base de datos de exposición está espacialmente individualizada (aunque los activos se encuentren agrupados por tipologías, los activos individuales, por ejemplo, edificio por edificio, son identificados y se les asigna una tipología), entonces cada estructura individual debe tener una curva asignada. Si los activos expuestos tuviesen una mayor agregación espacial (por ej., en manzanas, barrios, municipalidades), en lugar de asignar curvas a estructuras individuales, los tipos edilicios son agrupados por superficie y se asignan funciones de vulnerabilidad a las unidades agrupadas que representan la tipología promedio o más representativa presente dentro del grupo.

Para una evaluación probabilista del riesgo se deben utilizar las curvas de fragilidad seleccionadas con su representación probabilista completa. Este enfoque sobre vulnerabilidad debe utilizarse con el enfoque de evaluación de la amenaza probabilista y con el enfoque de exposición representativo para activos agregados para obtener una evaluación de riesgo probabilista.

En el caso de una evaluación de riesgo determinista, se pueden utilizar valores medios de daños o estados de daños de los análisis estructurales. Este enfoque sobre vulnerabilidad debe utilizarse con el enfoque de evaluación de la amenaza determinista y con el enfoque de exposición representativo para activos agregados para obtener una evaluación de riesgo determinista.

Para crear o asignar funciones de pérdida de uso, utiliza los valores generales presentados en la Tabla 6.7 de acuerdo a estados de daño aproximado para diversos sectores.

Consideraciones sobre vulnerabilidad durante la fase de construcción de un proyecto

La Tabla 6.14 provee orientación de requisitos generales para evaluar la vulnerabilidad de un proyecto durante la etapa de construcción.

Tabla 6.14. Requerimientos del enfoque de evaluación de vulnerabilidad

	Amenaza estudiada	Enfoque	Datos de vulnerabilidad requeridos
Fase de construcción	Inundación, marejada, tsunami, deslizamiento de tierra y volcán	Exposición	<ul style="list-style-type: none"> Ubicación de equipos y materiales e identificación de vías, ferrocarril y servicios públicos requeridos. Información demográfica y suposiciones sobre empleados y comunidad. Activos ambientales del lugar de emplazamiento o de la comunidad, ubicación y cantidades de materiales peligrosos.
	Terremoto y viento huracanado	Exposición	<ul style="list-style-type: none"> Almacenamiento de equipos y materiales e identificación de vías, ferrocarril y servicios públicos requeridos. Información demográfica y suposiciones sobre empleados y comunidad. Activos ambientales del lugar de emplazamiento o de la comunidad, ubicación y cantidades de materiales peligrosos.
	Sequía	Exposición	<ul style="list-style-type: none"> Equipos y materiales que requieren de agua. Información demográfica y suposiciones sobre empleados y comunidad. Activos ambientales del lugar de emplazamiento o de la comunidad, ubicación y cantidades de materiales peligrosos.
	Ola de calor	Exposición	<ul style="list-style-type: none"> Equipos y materiales sensibles al calor. Información demográfica y suposiciones sobre empleados y comunidad. Activos ambientales del lugar de emplazamiento o de la comunidad, ubicación y cantidades de materiales peligrosos.
Fase de operación	Incendio	A nivel del lugar de emplazamiento, detallado	<ul style="list-style-type: none"> Funciones específicas de daño de altura de llama para características edilicias detalladas.
	Deslizamiento de tierra	A nivel del lugar de emplazamiento, detallado	<ul style="list-style-type: none"> Funciones específicas de daño de altura de llama para características edilicias detalladas.
	Volcán	A nivel del lugar de emplazamiento, detallado	<ul style="list-style-type: none"> Funciones específicas de daño de altura de llama para características edilicias detalladas.

6.1.5 Análisis de resultados sobre riesgo

Consideraciones generales para analizar resultados sobre riesgo

La parte más importante de realizar una evaluación de riesgo viene después de haber cuantificado el riesgo usando cualquier ad ellos métodos descritos anteriormente: analizar los resultados. Este análisis debe mirar con cuidado el riesgo (las pérdidas) en términos absolutos y relativos, así como los resultados agregados y desagregados (por ejemplo, por categorías) y la distribución espacial de las pérdidas, si aplica.

La Tabla 6.15 muestra un ejemplo de algunos aspectos específicos a la amenaza que se deben tener en cuenta al analizar los resultados de riesgo. Estos aspectos deben ser usados para guiar el proceso de pensamiento al evaluar y analizar resultados e incluyen temas generales que pueden ser relevantes para cada amenaza. La Tabla 6.15 ofrece orientación sobre cuáles son las preguntas básicas que debes formularte para evaluar los resultados de una evaluación de riesgo. Éstas son útiles para reflexionar y para incluirlas en el Plan de Gestión del Riesgo de Desastre (PGRD) que se discute en la sección 6.1.6.

Tabla 6.15. Análisis de resultados sobre riesgo: consideraciones generales según la amenaza

Amenaza estudiada	Resultados sobre riesgo correspondientes a la amenaza específica
Inundación (todos los tipos)	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar que las vías de transporte (especialmente los puentes) no se inunden • Verificar que las áreas de almacenamiento de activos (automóviles, buses de la ciudad, productos u otros) no se inunden • Revisar las áreas donde se prevé la presencia de detritos para asegurar que el proyecto pueda operar
Viento huracanado	<ul style="list-style-type: none"> • Revisar las áreas donde se prevé la presencia de detritos para asegurar que el proyecto pueda operar
Deslizamiento de tierra	<ul style="list-style-type: none"> • Revisar las áreas donde se prevé la presencia de detritos para asegurar que el proyecto pueda operar
Incendio	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar las vías de transporte expuestas a incendio
Sequía	<ul style="list-style-type: none"> • Determinar el suministro de agua versus la demanda de agua del proyecto y de la zona
Volcán	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar las vías de transporte en cuanto a flujo de lahares, ceniza y lava • Revisar las áreas donde se prevé la presencia de detritos para asegurar que el proyecto pueda operar
Terremoto	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar las vías de transporte (especialmente los puentes) en cuanto a daños y funcionalidad • Revisar las áreas donde se prevé la presencia de detritos para asegurar que el proyecto pueda operar
Ola de calor	<ul style="list-style-type: none"> • Identificar los equipos y productos susceptibles al calor • Estimar un incremento en la demanda de potencia durante los sucesos (relacionados con baja disponibilidad de agua) • Identificar potencial de enfermedades relacionadas con el calor

Tabla 6.16. Preguntas orientativas para evaluar los resultados de una evaluación de riesgo

Preguntas orientativas
¿Se identificaron todas las amenazas naturales que podrían afectar al proyecto?
¿Se identificaron fenómenos ocurridos en el pasado?
¿Se evaluaron adecuadamente todas las amenazas naturales? ¿Se determinaron de manera correcta la intensidad, la frecuencia (solo para evaluaciones probabilistas) y la extensión espacial?
¿Se identificó y evaluó el efecto del cambio climático sobre las amenazas naturales?
¿Se caracterizó de forma adecuada la exposición de línea de base? (para activos y población)
¿Se caracterizó de forma adecuada la exposición posterior al proyecto? (para activos y población)
¿Se caracterizó la vulnerabilidad física y social de las comunidades aledañas?
¿Se calculó de forma adecuada el riesgo correspondiente a las condiciones de línea de base?
¿El riesgo se calculó de forma adecuada para las condiciones posteriores a la intervención del proyecto y para alternativas o medidas propuestas?
¿El proyecto genera riesgo adicional (incremental) para la comunidad o el medio ambiente?
¿El cambio climático aumentará el riesgo? ¿Cuán significativamente?
¿Cuál es el riesgo tolerable para el proyecto? (Debido a que se trata de una decisión, ¿quién toma la decisión para el proyecto?)

6.1.6 Evaluación y priorización de medidas de reducción de riesgo y Plan de Gestión de Riesgo de Desastres y Cambio Climático (PGRD)

Uno de los dispositivos más poderosos que brinda la evaluación cuantitativa del riesgo, aparte de permitir que el riesgo sea bien visible y tangible, es la capacidad de evaluar de forma racional las implicancias en términos de riesgo de diferentes alternativas de proyecto o de medidas de reducción de riesgo, nuevamente, mediante una evaluación cuantitativa con fundamento técnico y tangible. Estas evaluaciones de opciones se utilizan luego para informar el Plan de Gestión de Riesgo de Desastres (PGRD) que ayudará a reducir y gestionar el riesgo para el proyecto, como así también el riesgo potencial del proyecto para terceros. Las herramientas y los métodos descritos en esta sección para la evaluación de medidas de reducción de riesgo (y las alternativas de proyecto) pueden utilizarse directamente en conjunto con los métodos de evaluación de riesgo descritos anteriormente.

Para identificar y evaluar las opciones de mitigación de riesgo deberán realizarse tres tareas. La primera consiste en identificar las opciones estructurales y no estructurales para mitigar el riesgo asociado a la amenaza. La segunda consiste en identificar enfoques para evaluar las opciones de mitigación de riesgo de tu proyecto para evaluar su eficacia y determinar cuál o cuáles son factibles. La tercera tarea consiste en desarrollar un PGRD.

Identificar opciones de mitigación de riesgo

Esta sección provee orientación en la identificación de opciones de mitigación de riesgo. A continuación se analizan distintas opciones de mitigación de riesgo y el Apéndice G ofrece numerosos ejemplos específicos. A efectos prácticos y para mantener una lógica dentro de esta Metodología, el término mitigación de riesgos se refiere a cualquier medida que reduce el riesgo de desastres y cambio climático debido a amenazas naturales y se lo considera equivalente al término adaptación al cambio climático (consulta el Apéndice B para ver las definiciones de los términos utilizados en esta guía).

En primer lugar, se debe intentar identificar la mayor cantidad posible de opciones de mitigación, para lo cual se necesita familiarizarse con los tipos de opciones de mitigación de riesgo disponibles. Para esta Metodología, las opciones de mitigación de riesgo han sido categorizadas del siguiente modo: (i) fortalecimiento, (ii) protección y control, (iii) planificación, (iv) protección de los sistemas naturales, (v) educación y concientización y (vi) preparación y respuesta. Es común mitigar los riesgos procedentes de amenazas naturales utilizando en forma simultánea diferentes tipos de opciones para asegurar una reducción del riesgo. A continuación se presenta una descripción de las opciones de mitigación de riesgo, que incluyen medidas estructurales y no estructurales, o una combinación de opciones.

Medidas estructurales

Medidas de fortalecimiento:

Estas opciones consisten en modificar estructuras o infraestructura existente o diseñar nuevos proyectos para proteger estructuralmente un proyecto frente a una amenaza (mejorar la vulnerabilidad de la estructura) o quitarlo de la zona de amenaza (modificando la exposición). Es importante considerar estas opciones durante la etapa de diseño; en general, la integración de estas opciones al diseño suele resultar eficaz en términos de costos pero su implementación una vez que el proyecto fue construido suele ser costosa. A continuación citamos algunos ejemplos de opciones de fortalecimiento:

- Definir el emplazamiento del proyecto (mover una estructura fuera de la zona de amenaza)
- Soterramiento de los servicios básicos
- Reforzamiento estructural
- Elevar la estructura
- Adoptar estándares de diseño para edificaciones resilientes

Opciones de protección y control:

A diferencia de otras medidas de mitigación que mejoran la resistencia de edificios e infraestructura, estas medidas se centran en proteger estructuras mediante la instalación de barreras y desviando las fuerzas destructivas. A continuación citamos algunos ejemplos de opciones de control:

- Diques
- Canales de descarga
- Muros de protección
- Obras de estabilización de taludes/suelos

Este tipo de medidas puede incluir también protección basada en la naturaleza (por ej., vegetación protectora). Las opciones de protección de sistemas naturales se utilizan para minimizar los daños y las pérdidas y para preservar o restablecer las funciones de los sistemas naturales. A continuación citamos algunos ejemplos de opciones de protección de sistemas naturales:

- Control de sedimentos y erosión
- Restauración de corredor ribereño
- Gestión forestal
- Restauración y preservación de humedales

*Medidas no estructurales***Opciones de planificación e institucionales:**

Los planes locales integrales o de uso del suelo incluyen las metas, los valores y las aspiraciones de la comunidad. Los planes deben identificar los patrones y las tendencias de desarrollo actuales, como así también las zonas que deben desarrollarse en el futuro y las que no. Los planes deben incluir políticas y ordenanzas que guíen el desarrollo hacia lugares distantes de las zonas propensas a amenazas, como las llanuras de inundación, para evitar poner en riesgo a personas y activos. Los planificadores deben trabajar de forma coordinada al desarrollar

planes a fin de asegurar que los mismos sean coherentes entre sí. A continuación citamos algunos ejemplos de opciones de planificación:

- Ordenanzas sobre uso del suelo
- Preservación de espacios abiertos
- Plan de gestión de aguas pluviales

Opciones de programas de educación y concientización:

Estas opciones se utilizan para informar y educar a los propietarios, arrendatarios y funcionarios gubernamentales sobre peligros y riesgo y posibles formas de mitigarlos. Si bien este tipo de mitigación de riesgo reduce el riesgo de forma menos directa que los proyectos estructurales, constituye un punto de partida importante. Al aumentar el entendimiento y la conciencia de las personas acerca de las amenazas y el riesgo es más probable que se realicen acciones directas. A continuación citamos algunos ejemplos de programas de educación y concientización:

- Presentaciones a operadores de servicios públicos o a otros actores
- Concientización a residentes o arrendatarios en zonas propensas a amenazas
- Capacitación sobre mejores prácticas constructivas para mitigación de riesgo
- Informe sobre el estado del inmueble previo a la compra

Opciones de preparación y respuesta:

Estas opciones ayudan a las organizaciones y comunidades a prepararse y responder ante un desastre. Si bien el objetivo de las opciones de mitigación de riesgo anteriores es reducir el riesgo, siempre existe cierto riesgo residual que puede gestionarse preparando a las personas para un desastre. A continuación citamos algunos ejemplos de acciones de preparación y respuesta:

- Desarrollar y probar (a través de simulaciones y simulacros) planes de continuidad del negocio para asegurarse de que las funciones críticas de la estructura se mantienen operacionales o son rápidamente reestablecidas después de un evento.
- Instalar sistemas de alerta temprana que previenen la pérdida de vidas y lesiones en eventos de desastre donde el tamaño del evento ha sobrepasado las medidas de mitigación del riesgo.
- Desarrollar procedimientos y campañas para informar a empleados, operadores y al público acerca de la ubicación de refugios durante y después de un evento

Desarrollar y probar (a través de simulaciones y simulacros) planes de contingencia que incluyan actividades de evacuación. Para conocer otras opciones de mitigación de riesgo, consulta el Apéndice G. Los tipos de proyecto considerados en este apéndice tienen opciones de mitigación de riesgo detalladas.

Analizar opciones de mitigación de riesgo

Existen tres principales tareas al analizar y buscar opciones de mitigación de riesgo que incluyen: (i) analizar los beneficios de la opción de mitigación en términos de su eficacia para reducir el riesgo, (ii) analizar el costo de implementar y mantener la opción y (iii) combinar la información sobre costo y beneficio utilizando una o más herramientas de análisis económico para presentar resultados de modo tal que sirvan para informar los procesos de toma de decisiones sobre las ventajas de incluir la opción de mitigación en el PGRD.

Calcular los beneficios de la opción de mitigación:

Para poder evaluar la eficacia de una opción de mitigación, es necesario analizar el grado en que permite lograr las metas deseadas (mitigación del riesgo). Este paso debe incluir analizar los efectos de la opción de mitigación con el mismo nivel de detalle y aplicando la misma metodología de evaluación de riesgo utilizada en la evaluación de riesgo cuantitativa. La Tabla 6.17 ofrece un resumen de este proceso por metodología de evaluación de riesgo.

Tabla 6.17. Cuantificación de los beneficios de cada medida según la metodología de evaluación de riesgo

Metodología de evaluación de riesgo	Descripción
Evaluación probabilista del riesgo	Las opciones deben evaluarse con igual nivel de detalle que el empleado en la evaluación de riesgo sin implementar la opción. Esto requiere actualizar la modelación para incorporar los cambios que ocurren con la implementación de la opción y ejecutar modelos nuevamente para evaluar los efectos. Los resultados serán estimaciones de la pérdida anual promedio (evaluación probabilista simplificada) y la curva de excedencia de pérdidas y pérdidas máximas probables (evaluación totalmente probabilista) con la opción implementada. Los valores esperados restantes con respecto a las medidas de mitigación de riesgo con la opción implementada representan el riesgo residual (riesgo no impedido por la opción). La diferencia entre estos valores con la opción de mitigación y sin ella son los beneficios de la opción (pérdidas evitadas).
Evaluación determinista del riesgo	Las opciones deben evaluarse con igual nivel de detalle que el empleado en la evaluación de riesgo sin implementar la opción. Esto requiere actualizar la modelación para incorporar los cambios que ocurren con la implementación de la opción y ejecutar modelos nuevamente para evaluar los efectos. Debido a que la evaluación determinista evalúa eventos de amenazas individuales, las estimaciones de beneficios representan las pérdidas que se espera impedir con relación a ese evento específico si se implementase una medida de mitigación.
Toma de decisiones robustas (RDM, por sus siglas en inglés)	El proceso de RDM, por su naturaleza, prueba múltiples opciones según un amplio rango de configuraciones o “futuros” posibles. Los beneficios se interpretan en términos de la capacidad de una medida de cumplir la meta deseada. Como primer paso del proceso de RDM se define un conjunto de medidas que reflejan las metas deseadas mediante deliberaciones con las partes interesadas. Por lo tanto, estas medidas varían según el caso y reflejan metas y medidas de éxito con relación a proyectos específicos.
Evaluación de exposición	Las opciones deben evaluarse con igual nivel de detalle que el empleado en la evaluación de exposición sin implementar la opción. Esto requiere actualizar la modelación de la amenaza y el ejercicio de mapeo de la exposición para incorporar los cambios que ocurren al implementar la opción. Los efectos de las opciones de mitigación pueden cuantificarse en términos de cambios en las áreas geográficas susceptibles a los impactos de la amenaza y/o los cambios en los activos expuestos a los impactos de la amenaza. Por ejemplo, los efectos de una medida que consiste en construir un muro de protección se cuantificarán delineando la nueva extensión de la inundación con el muro construido y tabulando luego la reducción en los activos expuestos al impacto.

Calcular los costos de la opción de mitigación:

El siguiente paso consiste en estimar los costos de implementar cada opción de mitigación, incluidos los costos iniciales de implementación y los costos de operación y mantenimiento para un periodo de tiempo definido. La información sobre costos debe desarrollarse a nivel de planificación y puede basarse en cálculos de cantidades y costos unitarios estándar de la industria. Los costos de construcción también deben incluir planificación, ingeniería y diseño, como así también costos de supervisión y administración y una reserva para contingencias. También se debe incluir otros costos del proyecto como los inmobiliarios y los previstos para operación y mantenimiento. Los costos de los proyectos de infraestructura suelen desarrollarse según los precios vigentes para un horizonte de planificación de 50 años y se presentan a valor presente. Es importante documentar todos los componentes de precio considerados y el nivel de precio, periodo de análisis y tasa de descuento utilizada para computar valores presentes para informar a los responsables de tomar decisiones sobre los factores económicos considerados en el análisis.

Algunas opciones no estructurales pueden no requerir el cálculo de cantidades pero todos los costos asociados en la acción deben desarrollarse con un nivel de consideración similar. Por ejemplo, los costos asociados a un sistema de alerta y respuesta comunitaria deben considerar no sólo los costos de desarrollo e implementación, sino también otros como los de mantenimiento y actualización de equipos, capacitación para el personal y para el público en general, mecanismos para recoger la opinión pública y actualizaciones periódicas para incorporar la evolución o reconversión de la comunidad.

Comparar los costos y beneficios de la opción de mitigación:

El tercer paso en el análisis de una opción de mitigación consiste en seleccionar la metodología adecuada para comparar los costos y los beneficios de la opción. Las metodologías económicas de análisis de costo-beneficio (ACB) y análisis de eficacia de costos (AEC) pueden brindar información útil para

los responsables de tomar decisiones al momento de evaluar las ventajas de una opción de mitigación.

Cuando la eficacia de una medida de mitigación puede medirse en términos monetarios, el ACB puede aplicarse para evaluar la eficiencia y eficacia económica de la opción. En los casos en que la eficacia de una medida propuesta puede evaluarse únicamente en términos no monetarios pero cuantitativos, se puede aplicar el AEC para tomar decisiones económicamente fundamentadas. Ambas metodologías son descritas con mayor detalle en las siguientes secciones.

Otra metodología para comparar los beneficios y costos de los proyectos es el análisis multicriterio (AMC). Se trata de un método para analizar opciones de mitigación cuando es conveniente incluir más de una medida del beneficio y conservar la transparencia en la ponderación de esas medidas. El AMC es una metodología estructurada para identificar criterios y pesos, asignar un puntaje al desempeño de la medida con respecto a cada criterio y ordenar las medidas según su aporte ponderado con respecto al criterio. El AMC puede incentivar el involucramiento de las partes interesadas en la formulación del PGRD y en el proceso de evaluación. Se lo puede utilizar de forma independiente o bien se lo puede complementar con un ACB o un AEC. Más adelante consta una descripción más detallada de los métodos de análisis multicriterio. La Tabla 6.18 resume los análisis económicos y multicriterio incluidos en la Metodología, su aplicabilidad a las metodologías de evaluación de riesgo y las medidas obtenidas como resultado de cada análisis. Cada uno de estos análisis se estudia en mayor detalle en las subsecciones que siguen.

Tabla 6.18. Análisis económicos y de multicriterio para metodologías de evaluación de riesgo

Metodología de evaluación de riesgo	Análisis aplicables
Evaluación probabilista del riesgo	<p>Análisis de costo-beneficio: El análisis de costo-beneficio puede ofrecer datos para fundamentar decisiones como el valor presente neto/el retorno de la inversión, la relación costo-beneficio y las pérdidas residuales.</p> <ul style="list-style-type: none"> El valor presente neto mide el grado en que la opción de mitigación genera un retorno positivo de la inversión. Se calcula como el valor presente de los flujos descontados de los costos y beneficios del proyecto durante el horizonte de planificación. La relación costo-beneficio es la relación de los beneficios con respecto a los costos previstos del proyecto y se calcula dividiendo el valor presente de las pérdidas evitadas (beneficios) por el valor presente del costo de la opción de mitigación. Si la relación de costo-beneficio es mayor a 1.0 significa que los beneficios de la opción de mitigación superan los costos. Las pérdidas residuales son las pérdidas anualizadas promedio que se prevé que continúen ocurriendo una vez implementada la opción de mitigación. Es importante comunicar este riesgo residual para que los responsables de tomar decisiones y las personas afectadas entiendan que la opción de mitigación no elimina todo el riesgo asociado a la amenaza cuando corresponda.
	<p>Análisis multicriterio: Análisis complementario optativo capaz de incorporar al proceso de planificación algunos criterios que pueden ser importantes para las partes interesadas pero que no están incluidos en las medidas monetarias aplicadas para representar los beneficios que se busca obtener mediante la implementación de la medida de mitigación. Como ejemplo pueden citarse los efectos no buscados de la opción de mitigación que serían importantes para los responsables de tomar decisiones o para las partes interesadas afectadas.</p>
	<p>Análisis de costo-beneficio abreviado: Si bien no es tan robusto como el análisis de costo-beneficio basado en análisis probabilista, es posible comparar los costos de la opción de mitigación con los daños esperados tomados de un suceso pasado conocido o un caso pesimista.</p> <ul style="list-style-type: none"> Estimación puntual de la pérdida evitada: Para un evento único, estima las pérdidas totales que podrían haberse evitado con la opción de mitigación implementada. Estimación puntual de pérdidas residuales: Para un evento único, estima las pérdidas totales que aún se prevén con la opción de mitigación implementada.
Evaluación determinista del riesgo	<p>Análisis multicriterio: Análisis complementario optativo capaz de incorporar al proceso de planificación algunos criterios que pueden ser importantes para las partes interesadas pero que no están incluidos en las medidas monetarias aplicadas para representar los beneficios que se busca obtener mediante la implementación de la medida de mitigación. Como ejemplo pueden citarse los efectos no buscados de la opción de mitigación que serían importantes para los responsables de tomar decisiones o para las partes interesadas afectadas.</p>
	<p>Análisis de eficacia de costos: Para cada opción de mitigación considerada, compara los costos del plan con la reducción de riesgo cuantificada con base en la medida del análisis de exposición cuantificada aplicada en la evaluación de exposición sin la opción de mitigación. Cuantifica los cambios ventajosos o adversos que ocurrirían en la exposición del activo con la opción de mitigación. Las medidas de reducción de riesgo cuantificada pueden incluir valores como reducción de la zona en riesgo, reducción de la población en riesgo o reducción de los activos en riesgo. Ofrece a los responsables de tomar decisiones una evaluación cualitativa y una justificación acerca de si la reducción de riesgo justifica el costo y porqué.</p>
Evaluación de exposición	<p>Análisis multicriterio: Utiliza las variables de la evaluación de exposición como criterios en el análisis multicriterio y asigna una puntuación al desempeño de cada criterio de la medida con base en la modificación en la exposición del activo para ordenar las medidas.</p>

Análisis de costo-beneficio

El análisis de costo-beneficio puede aplicarse a todos los beneficios y costos medidos en una misma unidad monetaria. Todos los costos y beneficios deben evaluarse a lo largo del mismo periodo de análisis. Las corrientes de costos y beneficios monetarios durante el periodo analizado se convierten a valor presente utilizando una misma tasa de descuento para su comparación en este tipo de análisis.

Es recomendable que el periodo considerado en el análisis de costo-beneficio esté alienado con la vida útil del proyecto, la cual puede variar dependiendo del tipo de proyecto. El periodo considerado en cada análisis de costo-beneficio comenzará en el “año base” y se extenderá por el periodo de tiempo elegido para el análisis de flujos de beneficios y costos de la opción de mitigación. El año base debe establecerse como el año en que finaliza la construcción.

Los pasos para realizar un ACB son:

1. Evaluar los beneficios monetarios de reducción de riesgo de la opción de mitigación para el periodo de análisis.
2. Evaluar los costos monetarios durante la vida útil para el periodo de análisis.
3. Convertir todas las flujos de costos y beneficios a su valor presente (VP) utilizando la tasa de descuento vigente para el programa.
4. Calcular los beneficios como la diferencia del VP de los beneficios durante el periodo de análisis y el VP de los costos durante el periodo de análisis.
5. Calcular la relación beneficio-costos como el VP de los beneficios durante el periodo de análisis y el VP de los costos durante el periodo de análisis.
6. Evaluar las incertidumbres.
7. Presentar la información para la toma de decisiones.

1. Evaluar los beneficios monetarios de reducción de riesgo de la opción de mitigación

El beneficio buscado mediante la implementación de una medida de mitigación es la reducción de riesgo resultante. Para evaluar la reducción de riesgo se debe estimar el riesgo sin la opción de mitigación y con ella. La estimación del riesgo monetario con la opción de mitigación se obtiene utilizando la misma metodología de evaluación de riesgo utilizada en la configuración del modelo sin la opción de mitigación. La diferencia entre “sin mitigación” y “con mitigación” del riesgo es el beneficio de la opción de mitigación y el riesgo remanente se denomina “riesgo residual” luego de la implementación de la medida de mitigación. Para una evaluación de riesgo probabilista, el beneficio de la reducción de riesgos (pérdidas evitadas) puede tomarse directamente de las pérdidas anuales esperadas, lo que dará como resultado beneficios anualizados que pueden incorporarse en el análisis de la vida útil. Para un análisis determinista, solo se obtendrán las pérdidas evitadas para un evento en particular.

2. Evaluar los costos monetarios durante la vida útil

Al igual que en el caso de los beneficios de la opción de mitigación, los costos de la opción pueden ocurrir durante todo el periodo de análisis. Los costos de planificación, diseño de ingeniería, adquisición del inmueble y construcción suelen ocurrir antes o durante el año base. Los costos de operación, mantenimiento, reparación, reemplazo y rehabilitación pueden ocurrir en diversos momentos durante el periodo de análisis. Es importante pronosticar y estimar todos los flujos previstos de costos de la opción de mitigación para su inclusión en el análisis de costo-beneficio.

3. Calcular el valor presente de todos los flujos de costos y beneficios

Para comparar las corrientes de beneficios y costos en términos iguales, se requiere de un mismo nivel de precios. El nivel de precios se refiere al costo promedio de los bienes y servicios en una economía en un momento especificado. Debido a que el periodo analizado abarca muchos años, el nivel de precio no permanecerá constante. En lugar de pro-

nosticar cambios en el nivel de precios durante el periodo, se selecciona un único nivel de precios del análisis de costo-beneficio. Debido a que las estimaciones de beneficios y costos se desarrollan más fácilmente en precios vigentes, el nivel de precios para el análisis debe establecerse según el nivel de precios vigentes (año en que se realiza el análisis) y ese nivel de precios se aplica a todos los costos y beneficios durante el periodo de análisis.

Luego deben descontarse los flujos de costos y beneficios. El descuento ajusta futuras sumas de dinero para reflejar el *valor del dinero en el tiempo*. El valor del dinero en el tiempo es el principio que establece que un dólar recibido hoy tiene mayor valor que un dólar recibido en el futuro. Para el análisis de costo-beneficio, la relación entre cuánto más vale un dólar recibido hoy que un dólar recibido en el futuro es la tasa de descuento. El valor descontado de una suma futura se denomina valor presente. La fórmula para el valor presente de una suma futura está dada por:

$$VP = \frac{S}{(1+r)^t}$$

Donde S es la suma futura, r es la tasa de descuento y t es el año del periodo de análisis.

Para una evaluación probabilista del riesgo, las pérdidas evitadas anualizadas (tomadas de todas las pérdidas anuales esperadas) permiten una directa aplicación de un análisis de la vida útil y el cálculo del VP con una tasa de descuento.

Una tasa de descuento baja significa que el valor de los beneficios y costos que ocurran en periodos futuros se reducen mínimamente con relación a una tasa de descuento alta, donde el valor de los beneficios y costos futuros se reduce considerablemente comparado con su valor si ocurriesen hoy.

4. Calcular los beneficios netos

Los beneficios netos o el valor presente neto, se refieren al saldo de los beneficios del proyecto versus los costos. Igual que en paso anterior, los flujos de pagos futuros deben descontarse. Los beneficios

netos se estiman calculando el valor presente neto de los costos y beneficios, o la suma del saldo descontado de costos y beneficios durante cada periodo de análisis.

$$VP \text{ Beneficios netos} = VP \text{ Beneficios} - VP \text{ Costos}$$

5. Calcular la relación costo-beneficio

Le relación costo-beneficio (RCB) es una medida utilizada para describir la magnitud relativa de los costos y beneficios. Una RCB DE 1.0 indica que el valor presente de los beneficios equipara al valor presente de los costos. Una RCB superior a 1.0 indica que los beneficios superan los costos y una RCB inferior a 1.0 indica que los costos superan a los beneficios.

$$RCB = VP \text{ Beneficios} / VP \text{ Costos}$$

6. Evaluar las incertidumbres

La estimación de los costos y beneficios asociados al proyecto está sujeta a múltiples fuentes de incertidumbre que podrían afectar los beneficios netos computados y la relación costo-beneficio. Como mínimo, es necesario considerar fuentes clave de incertidumbre y describirlas en términos de su magnitud para poder ofrecer a los responsables de tomar decisiones un panorama completo del contexto de planificación.

Para una evaluación probabilista del riesgo, la incertidumbre ya fue reconocida e incorporada en los cálculos de riesgo realizados para obtener las pérdidas anuales esperadas; la pérdida anual esperada es una cantidad estadística, el valor esperado de una función de distribución de probabilidad conjunta, por lo tanto, la medida de dispersión de la pérdida (desviación estándar) también puede determinarse a partir de la evaluación de riesgo. En consecuencia, los beneficios, que son pérdidas anuales esperadas evitadas (PAE sin la opción - PAE con la opción), ya incorporan la incertidumbre. Por otra parte, para la evaluación de riesgo determinista, los beneficios no incorporan incertidumbre.

Por lo tanto, la incorporación cuantitativa de incertidumbre en el análisis de costo-beneficio también

puede garantizarse dependiendo de la naturaleza del proyecto y el nivel necesario de certeza en los cálculos de beneficios para que los responsables de tomar decisiones avancen. Los análisis de incertidumbre cuantitativos pueden variar en complejidad dependiendo de las necesidades del proyecto, desde un simple análisis de escenario a modelado estadístico adicional para desarrollar parámetros de incertidumbre en estimaciones del valor presente del proyecto y/o la relación costo-beneficio.

Un análisis de sensibilidad simple de un escenario puede incluir aumentar o disminuir los beneficios y costos estimados para identificar el punto en el que los beneficios netos equivalen a cero, por ej., la RCB disminuye a 1.0 (funcionaría con una evaluación determinista del riesgo). Un análisis estadístico más comprometido, compatible con una evaluación probabilista del riesgo, podría incorporar la incertidumbre de todas las PAE y desarrollar una distribución de probabilidades para representar los costos. Estos datos podrían tomarse con datos de entrada en una simulación de Monte Carlo para desarrollar estimaciones de beneficios netos y la RCB con parámetros de incertidumbre. Esto permitiría contestar preguntas como “¿cuán probable es que la RCB supere 1.0?”

7. Presentar la información para la toma de decisiones

La comunicación del riesgo es un componente crítico de análisis de costo-beneficio. Se deben informar los resultados mediante una narrativa con un nivel de detalle adecuado para el público a quien se dirige; se describe el contexto de planificación y se explica los resultados clave del análisis. La información de la narrativa del análisis de costo-beneficio debe incluir lo siguiente:

- a. Nombre y ubicación del proyecto y plazo previsto del proyecto
- b. Amenazas naturales identificadas
- c. Descripción de la opción de mitigación de riesgo
- d. Fecha del análisis de costo-beneficio
- e. Año base para el análisis

- f. Periodo de análisis
- g. Tasa de descuento
- h. Riesgo sin la opción de mitigación
- i. Riesgo residual con la opción de mitigación
- j. VP de los beneficios de la opción de mitigación
- k. VP de los costos de la opción de mitigación
- l. Beneficios netos
- m. Relación costo-beneficio
- n. Incertidumbre

Análisis de eficacia de costos:

Igual que el análisis de costo-beneficio, el análisis de eficacia de costos ofrece un marco analítico estructurado para evaluar el grado en el que una opción de mitigación lograría los objetivos del proyecto (beneficios) y los recursos requeridos para diseñar, implementar y operar el proyecto (costos). El análisis de eficacia de costos es una herramienta económica útil para comparar los costos y beneficios de las opciones de mitigación cuando no hay información disponible para respaldar la evaluación monetaria de los beneficios. En la Metodología, el análisis de eficacia de costos es más adecuado para la evaluación de exposición.

Si bien el análisis de eficacia de costos no requiere de una estimación monetaria de los beneficios del proyecto, sí requiere de su estimación cuantitativa. Como ejemplos podemos citar “zona en riesgo”, “población en riesgo” u otros activos de interés en riesgo. La medida cuantitativa utilizada debe ser la misma que la utilizada en la evaluación de exposición sin la opción de mitigación y con ella. Igual que en la evaluación de costo-beneficio, en la evaluación de eficacia de costos todos los costos y beneficios deben evaluarse a lo largo del mismo periodo de análisis. Los flujos de costos monetarios durante el periodo analizado se convierten a valor presente utilizando una misma tasa de descuento para su comparación en este tipo de análisis. Los beneficios no monetarios no se descuentan en el análisis de eficacia de costos.

Es recomendable que el periodo considerado en el análisis de eficacia de costos bajo esté alienado con la vida útil del proyecto. El periodo considerado en cada análisis de eficacia de costos comenzará en el “año base” y se extenderá por el periodo de tiempo establecido para el análisis de flujos de beneficios y costos de la opción de mitigación. El año base debe establecerse como el año en que finaliza la construcción.

Los pasos para realizar un análisis de eficacia de costos:

1. Evaluar los beneficios no monetarios de reducción de riesgo para el periodo de análisis.
2. Evaluar los costos monetarios durante la vida útil para el periodo de análisis.
3. Convertir todas las corrientes de costos a su valor presente (VP) utilizando la tasa de descuento vigente para el programa.
4. Comparar los costos y los beneficios.
5. Documentar la evaluación cualitativa de la eficacia de costos de la opción de mitigación.
6. Evaluar las incertidumbres.
7. Presentar la información para la toma de decisiones.

1. Evaluar los beneficios de reducción de riesgos no monetarios

En algunos casos no es práctico cuantificar los beneficios de una opción de mitigación en términos monetarios. Entonces se los puede presentar de un modo cuantificado para su comparación con los costos. Las medidas de reducción de riesgo no monetarias pero cuantitativas pueden basarse en la evaluación de exposición y pueden incluir medidas como disminución de la zona en riesgo, disminución de la población en riesgo o disminución de los activos en riesgo. Como se describió en el numeral 2 del análisis de costo-beneficio, la categorización de beneficios se debe realizar tanto para condiciones “sin mitigación” como para condiciones “con miti-

gación”. La diferencia entre estas dos condiciones representa el beneficio de implementar la medida de mitigación. En un análisis de eficacia de costos es importante describir la importancia de la reducción de riesgo para permitir a los responsables de tomar decisiones realizar una elección informada al recomendar una medida de mitigación para su inclusión en el PGRD.

2. Evaluar los costos monetarios durante la vida útil

La acción 2 del análisis de eficacia de costos es la misma que la documentada para la acción 2 del análisis de costo-beneficio.

3. Convertir las corrientes de costos a su valor presente

La acción 3 del análisis de eficacia de costos utiliza los mismos métodos descritos para la acción 3 del análisis de costo-beneficio pero se aplica únicamente a los flujos de costo ya que los beneficios no se cuantifican en términos monetarios en el procedimiento de la evaluación de eficacia de costos.

4. Comparar los costos y los beneficios.

Se debe tabular y comparar los costos y beneficios de la opción de mitigación. El costo promedio por resultado unitario debe tabularse para la opción. En caso de estar considerando múltiples opciones de mitigación, las opciones pueden ordenarse según su costo promedio. Las opciones eficaces en términos de costos pueden identificarse como el plan que produce cada nivel sucesivo de resultados al menor costo. Incluir documentación de la importancia de la reducción del riesgo desarrollada en el numeral 1 del análisis de eficacia de costos.

5. Evaluación cualitativa de eficacia de costos

Con base en los resultados del numeral 4 del análisis de eficacia de costos, el analista realizará una recomendación sobre si la reducción de riesgo asociada con una opción de mitigación es justificable para su inclusión en el PGRD con base en su nivel asociado de logro de objetivos, la importancia de la reducción del riesgo y los costos.

6. Evaluar las incertidumbres

La acción 6 del análisis de eficacia de costos es la misma que la documentada para la acción 6 del análisis de costo-beneficio.

7. Presentar la información para la toma de decisiones

La comunicación del riesgo es un componente crítico de análisis de eficacia de costos. Se debe informar los resultados mediante una narrativa con un nivel de detalle adecuado para el público a quien se dirige; se describe el contexto de planificación y se explica los resultados clave del análisis. La información de la narrativa del análisis de eficacia de costos debe incluir lo siguiente:

Nombre y ubicación del proyecto y plazo previsto del proyecto

- a. Amenazas de desastre identificadas
- b. Descripción de la opción de mitigación de riesgo
- c. Fecha del análisis de eficacia de costos
- d. Año base para el análisis
- e. Periodo de análisis
- f. Tasa de descuento
- g. Cuantificación del riesgo sin la opción de mitigación
- h. Cuantificación del riesgo residual con la opción de mitigación
- i. Beneficios del PGRD
- j. VP de los costos en el PGRD
- k. Evaluación cualitativa de eficacia de costos de la opción de mitigación
- l. Incertidumbre

Análisis multicriterio (AMC)

Existen numerosas metodologías diferentes para realizar un AMC con respecto a acciones de mitigación. Con el AMC las partes interesadas pueden definir una serie de criterios de evaluación, asignar y normalizar puntajes, ponderar criterios y luego clasificar las opciones.

Este enfoque es un método eficaz en términos de costos para filtrar y priorizar opciones de mitigación de riesgo. El AMC se enfoca en múltiples criterios de éxito que pueden ponderarse y busca decisiones que maximicen la respuesta que según la ponderación es la mejor.

Este enfoque también brinda la oportunidad de incorporar a las partes interesadas y sus opiniones directamente en el proceso de mitigación de riesgo, lo cual promueve apropiación y, en definitiva, la implementación de las medidas de mitigación de riesgo. No obstante, este método es más subjetivo y puede resultar difícil lograr que las partes interesadas acuerden criterios y ponderaciones.

En el ejemplo que sigue tomado de Holanda (De Bruin y otros, 2009) se utilizó un AMC para identificar opciones de adaptación al cambio climático en relación con la planificación territorial. En este AMC se identificaron 96 opciones de adaptación (incluido un amplio rango de políticas y medidas tecnológicas), se definieron 5 criterios de evaluación, se asignaron calificaciones de 1 a 5 y se ponderó cada criterio. Los 5 criterios usados fueron: (i) importancia en términos de beneficios brutos esperados, (ii) la urgencia que refleja la necesidad de actuar pronto, (iii) la característica de bajo arrepentimiento, es decir, si es bueno implementar la medida independientemente del cambio climático, (iv) los co-beneficios con otros sectores y (v) el efecto en la mitigación del cambio climático, es decir, en reducir la emisión de gases de efecto invernadero. Las calificaciones obtenidas para cada uno fueron sumadas y ponderadas para establecer una calificación general para cada opción de adaptación. La Tabla 6.19 muestra las opciones de adaptación con las calificaciones más altas que resultaron de hacer el ejercicio de priorización. Todas tienen una calificación de 4,9 y por lo tanto fueron seleccionadas como las opciones priorizadas a implementar. Por el contrario, las opciones con las calificaciones más bajas incluyen el drenaje del subsuelo, con un puntaje de 1,1, y la reclamación de parte del Mar del Norte, con un puntaje de 1,4.

Tabla 6.19. Ejemplo de criterios y clasificación en el marco de un AMC (De Bruin y otros, 2009).

Opción de adaptación	Importancia (40%)	Urgencia (20%)	Sin lamentaciones (15%)	Cobeneficios (15%)	Efecto de mitigación (10%)	Resumen ponderado
Gestión integrada de la naturaleza y el agua	5	5	5	5	4	4,9
Gestión integrada de zona costera	5	5	5	5	4	4,9
Más espacio para agua: a. sistema de agua regional, b. mejorar capacidad de ríos	5	5	5	5	4	4,9
Política de asignación basada en los riesgos	5	5	5	5	4	4,9
Gestión del riesgo como estrategia básica	5	5	5	5	4	4,9
Nuevas alianzas institucionales	5	5	5	4	5	4,9

Otro ejemplo son los criterios STAPLEE desarrollados por la Agencia Federal de Gestión de Emergencias de EE.UU. (FEMA, por sus siglas en inglés). Este conjunto de criterios permite examinar las oportunidades y limitaciones sociales, técnicas, administrativas, políticas, legales, económicas y ambientales asociadas a la implementación de una opción de mitigación en particular utilizando un mismo marco.

- Los criterios sociales se basan en la idea de que el consenso de la comunidad es una condición previa necesaria para la implementación exitosa de las opciones de mitigación. Esto también significa que las medidas no deben perjudicar a un segmento en particular de la población o a un vecindario en particular o tener un efecto negativo en los valores culturales o en los recursos.
- Los criterios técnicos abordan la factibilidad técnica de las medidas propuestas, en términos de eficacia, impactos secundarios y las capacidades técnicas de tu comunidad para implementar y sostener estas opciones.
- Los criterios administrativos abordan las capacidades administrativas necesarias para implementar cada opción de mitigación; dan una respuesta a la pregunta: ¿La organización cuenta con el personal y los fondos para implementar y sostener la opción?

- Los criterios políticos consideran la necesidad de apoyo político para las opciones de mitigación. Esto significa que todas las partes interesadas en el proceso político, en especial las organizaciones e instituciones políticas tanto fuera como dentro de la comunidad, deben apoyar la medida.
- Los criterios legales se utilizan para determinar la autoridad jurídica necesaria para implementar cada opción de mitigación y si dicha autoridad puede delegarse. Además analizarás la opción de mitigación desde el punto de vista de las leyes, códigos, ordenanzas y otras regulaciones vigentes, como así también la posible ramificación jurídica de la implementación de la opción.
- Los criterios económicos abordan la eficacia en términos de costos de la medida propuesta y su impacto económico en la población. Es razonable esperar que los beneficios de la implementación superen los costos incurridos.
- Los criterios ambientales se han vuelto un aspecto importante al considerar al analizar opciones de mitigación. Si bien la mayoría de las opciones de mitigación suelen ser beneficiosas para el medio ambiente, algunas opciones pueden tener efectos adversos que deben ser considerados y solucionados.

La Tabla 6.20 muestra los criterios STAPLEE utilizados para evaluar opciones de mitigación de inundaciones para un proyecto hidroeléctrico financiado por la International Finance Corporation (IFC) en Zambia (IFC, 2011). En el ejemplo, cada criterio fue clasificado como adverso, beneficioso, insignificante o desconocido. Al sumarlos en la columna extrema derecha se puede observar qué opciones necesitan continuar siendo investigadas.

El AMC puede utilizarse como un método de análisis independiente o se lo puede combinar con uno de los enfoques económicos identificados anteriormente. Si se lo combina con un enfoque económico, los hallazgos del análisis de costo-beneficio o de eficacia de costos constituyen una línea de evidencia que es considerada junto con otros criterios de AMC para su priorización final. Este enfoque combinado puede constituir un método eficaz para identificar de forma más completa y clasificar las opciones de mitigación de riesgo.

Tabla 6.20. Ejemplo de criterios STAPLEE y clasificación (IFC 2011)

Estrategia de adaptación (Categoría)	S	T	A	P	L	E	E	Total
Integrar enfoques de gestión del agua y desarrollar normas sobre uso del agua (F,O S,E)	↑	↑	U	U	U	U	↑	+
Implementar nuevos enfoques y normas sobre planificación de uso del suelo (O,E)	↑	↑	U	U	U	↑	↑	+
Ampliar la capacidad de reservorios (F, O, S, E)	U	↑	U	U	U	U	↓	U
Conservar energía (F, O, S, E)	↑	U	U	U	→	U	↑	+
Diversificar fuentes de energía (F, E)	→	↑	↓	U	U	↓	↓	U
Implementar generación de electricidad con almacenamiento por bombeo (F)	U	↓	U	U	U	U	↓	U
Eficiencia en el uso del agua, incluido plan de gestión de sequía (S, O)	→	↑	U	U	U	↑	U	+
Implementar capacitaciones y participación pública (S)	↑	↑	U	U	→	↑	↑	+
Estrategias financieras	U	U	U	U	U	U	↑	+

Referencias: Para la estrategia de adaptación: F = física; O = organizacional; S = social; E = económica.

Para criterios de evaluación: S = social; T = técnico; A = administrativo; P = político; L = legal; E = económico; E = ambiental.

Para la clasificación: ↓ = adversa; → = insignificante; ↑ = beneficiosa; U = desconocida; + mayor consideración

Un ejemplo de combinar el AMC con un ACB es el programa Living with the Bay (LWTB, por sus siglas en inglés) del Estado de Nueva York, parte de la iniciativa Hurricane Sandy Recovery Rebuild by Design (GOSR, 2017a). Se creó una Estrategia de Resiliencia donde se identificaron y priorizaron intervenciones que de manera independiente abordan las áreas problemáticas y de manera conjunta mejoran la resiliencia del corredor fluvial. Se desarrolló un marco de priorización alineado con las metas de la Estrategia de Resiliencia del programa LWTB, que incluyeron cinco categorías con medidas individuales. Estas cinco categorías, presentadas en la Figura 6.31, incluyen: costos, beneficios, riesgo y vulnerabilidad, sinergias y resiliencia social. Cada una de las categorías se desarrolló de modo tal que el puntaje

más alto indica un elemento positivo preferido del proyecto. No se incluyeron puntajes negativos en el marco de priorización. Cada categoría incluye subcategorías y a cada una de éstas se le asignó una puntuación máxima y un peso, como se muestra en la tabla del lado izquierdo de la Figura 6.31. Se desarrollaron puntajes numéricos para cada métrica en lugar de valores tangibles como dólares. Los costos fueron considerados en términos del VPN y fueron incluidos en la adquisición de tierras y en los costos de construcción, diseño, gestión, operación y mantenimiento. Los beneficios fueron divididos en tres: beneficios por la reducción del riesgo por inundación, beneficios por la mejora en la calidad del agua y beneficios por la restauración del ecosistema. Los beneficios por la reducción del riesgo por inunda-

ción fueron considerados en términos de las pérdidas evitadas a través de un *proxy*. Los beneficios por la mejora de la calidad del agua fueron considerados en términos del total de sólidos suspendidos y nitrógenos como resultado del proyecto. Los beneficios por la restauración del ecosistema fueron considerados en términos del área con un hábitat mejorado.

Consulte GOSR (2017b) para conocer más detalles.

La tabla de la parte derecha de la Figura 6.31 muestra los resultados del ejercicio de puntuación. Esta tabla está en orden descendente para mostrar las opciones con los mayores puntajes primero, representando las opciones priorizadas.

Figura 6.31. Marco de priorización del programa LWTB, con AMC y ACB incorporados.



Category	Metric	Category Weight	Maximum Score
	Total Costs	100%	25
Total Costs		100%	25
	Flood Reduction	45%	15.75
	Water Quality	30%	10.50
	Ecosystem/Habitat	25%	8.75
Total Benefits		100%	35
	Health and Safety	40%	6
	Reduced Flooding Risk	40%	6
	Future Adaptability	20%	3
Total Risk and Vulnerability		100%	15
	Program Synergies	30%	3
	Municipal Dependencies	30%	3
	Critical Infrastructure	20%	2
	Leveraged Funds	20%	2
Total Synergies		100%	10
	Improved Quality of Life	33%	5
	Cultural Heritage Preservation	33%	5
	Education Opportunities	33%	5
Total Social Resiliency		100%	15

MAXIMUM PRIORITIZATION SCORE 100

Each project was calculated based on five categories, each category with varying metric weights.

Fuente: GOSR, (2017a)

PRIORITIZATION RANKING BREAKDOWN							
ID	PROJECT NAME	Costs	Benefits	Risk & Vulnerability	Synergies	Social Resilient	Total Project Rating
V	Coastal Marsh Restoration	0.0	32.4	8.2	3.3	6.6	50.5
B	Horsebrook Drain West Branch Recharge Basin	7.0	25.3	11.4	1.9	0.8	46.4
DD	Hempstead High School Creek Restoration	23.9	7.4	2.2	5.7	5.8	45.0
II	Cooper Square	19.8	14.7	2.3	6.1	0.0	42.9
M	East Rockaway High School/Lister Park	10.3	13.8	6.0	4.9	7.8	42.8
H	Malverne High School	18.0	11.3	2.1	4.8	6.2	42.4
F	Malverne Green Streets	12.1	19.6	3.8	5.3	0.4	41.2
A	Hempstead Lake State Park	0.0	13.6	11.3	5.3	10.7	40.9
L	Smith Pond	12.8	9.1	4.7	5.7	7.4	39.7
C	Hempstead Housing Authority	20.0	8.2	7.2	3.6	0.2	39.2
N	Forest Avenue	22.5	4.9	4.8	6.1	0.4	38.7
P	East Boulevard and West Boulevard	18.8	6.2	6.3	5.4	2.0	38.7
E	Southwest Village of Hempstead Suspended Pavement Green Streets	5.0	22.1	6.1	5.3	0.0	38.5
X	S Centre Avenue Bioretention Green Street	24.5	1.6	2.7	6.1	3.5	38.4
EE	Covert Street	24.5	0.6	5.7	6.8	0.0	37.6
KK	Southern State Parkway Ramp	23.8	3.9	3.4	6.1	0.0	37.2
HH	Nichols Court	24.0	1.3	2.5	6.1	0.0	37.2
J	Lynbrook Recharge Basin	24.7	4.2	3.9	3.6	0.0	37.2
D	Northeast Village of Hempstead	4.1	21.9	6.8	2.5	0.0	35.3

Métodos de optimización

Los análisis de costo-beneficio y multicriterio detallados anteriormente pueden utilizarse también para analizar casos donde existen múltiples medidas de mitigación y se los puede combinar de diferentes formas para crear paquetes de medidas. En lugar de evaluar cada medida individualmente y seleccionar una o un par, puede ser necesario evaluar numerosas combinaciones y luego clasificarlas y hallar el mejor “paquete” de opciones que combine medidas individuales. Para ello se utilizan métodos analíticos similares a la optimización.

Uno de estos enfoques consiste en utilizar algoritmos genéticos para realizar un ejercicio de optimización para múltiples alternativas cuando el análisis de opciones incluye innumerables combinaciones que no pueden analizarse individualmente. Cardona y otros (2017b) desarrolló este enfoque para evaluar y clasificar las mejores alternativas para un problema de riesgo de inundación. Se aplicó una evaluación totalmente probabilista del riesgo para obtener la CEP, la PAE y las PMP para una gran cartera de viviendas en 11 municipalidades en Colombia y luego se propusieron diversas medidas de mitigación. No obstante, la cantidad de combinaciones de posibles medidas (incluso elevar las casas a diferentes alturas, construir protecciones urbanas contra las inundaciones para diferentes centros urbanos y construir un dique) resultaron ser del orden de miles. Por lo tanto, este algoritmo se utilizó para evaluar, mediante la utilización de relaciones de costo-beneficio y otras medidas, combinaciones de diferentes agrupaciones (o paquetes) de medidas con diferentes características técnicas y aplicadas en simultáneo a diferentes subportafolios.

En resumen, un algoritmo genético utiliza el concepto y el proceso de selección natural y genética para seleccionar la solución óptima a un problema mediante modificaciones “genéticas” iterativas a las opciones (véase Arora, 2012). El enfoque propuesto por Cardona y otros, (2017b) consta de los siguientes pasos:

1. El conjunto completo de soluciones posibles representa una población donde cada solución

representa a un individuo de la población. Cada individuo tiene un genotipo que es la composición genética de esa solución y está integrada por múltiples genes, que son configuraciones específicas de esa solución. Esto significa que cada individuo representa un paquete de soluciones compuesto por diversas medidas o alternativas individuales. En el primer paso se genera una población de forma aleatoria.

2. Todos los individuos son evaluados con respecto a su aptitud, es decir, se los evalúa con respecto al criterio que está siendo optimizado (por ej., relación costo-beneficio, máximo beneficio, etc.). El individuo con mejor desempeño con respecto a los criterios de evaluación (la aptitud) es elegido como el “ganador”.
3. El ganador luego pasa por un proceso de cruce y mutación con el resto de la población para crear una nueva generación de individuos que ahora tienen diferentes configuraciones de medidas.
4. Los individuos de la nueva generación son evaluados nuevamente para determinar su aptitud y se selecciona un ganador. Este proceso se repite para numerosas generaciones hasta que el último ganador cumple un umbral específico para optimización o se alcanza un número definido de generaciones.

Este enfoque es más apropiado para aquellos casos en los que existen innumerables configuraciones de posibles medidas de mitigación.

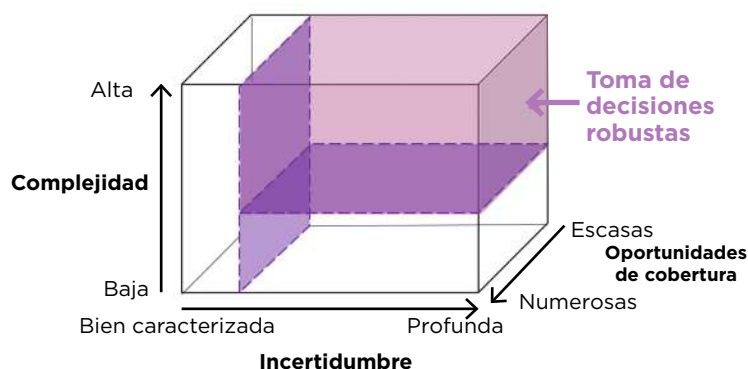
Toma de decisiones robustas (RDM, por sus siglas en inglés) o toma de decisiones bajo incertidumbre profunda (DMDU, por sus siglas en inglés).

El objetivo de realizar una evaluación probabilista del riesgo (descrita anteriormente en Modelo de riesgo cuantitativo - Evaluación probabilista del riesgo) es evaluar la incertidumbre procedente de todas las partes de un modelo de riesgo, incluido el clima cambiante. Los métodos descritos allí utilizan una cuantificación numérica explícita de esas incertidumbres, lo que lleva a que los resultados tengan estas incertidumbres ya consideradas y calculadas,

y los resultados son luego utilizados para proponer, evaluar y seleccionar medidas de reducción de riesgos o alternativas de proyectos. Las herramientas y métodos descritos anteriormente en esta sección para la evaluación de medidas de reducción de riesgo pueden utilizarse directamente en conjunto con esos métodos de evaluación de riesgo. No obstante, existe otro enfoque que tiene el mismo objetivo pero un modo diferente de abordarlo. Toma de decisiones robustas (RDM, por sus siglas en inglés) o toma de decisiones bajo incertidumbre profunda (DMDU).

Este enfoque de RDM representa otra opción para evaluar medidas de reducción de riesgo y alternativas de proyectos. Este enfoque ha sido designado con diferentes nombres con el paso de los años, incluido análisis exploratorio (1993), RDM (2003), *Decision Scaling* (2011), toma de decisiones robustas multiobjetivo o MORDM (2013), pero todos ellos se refieren al mismo concepto acerca de abordar la profunda incertidumbre al tomar decisiones. La incertidumbre profunda procede de incertidumbres científicas existenciales o de gran magnitud y existe cuando no existe consenso sobre la probabilidad de futuros alternativos o sobre el modo en que las acciones se relacionan con las consecuencias, y en general no tiene límites precisos (Groves, 2017). Figura 6.32 muestra una representación visual de los casos en los que es adecuado utilizar RDM.

Figura 6.32. Representación indicativa acerca de cuándo utilizar RDM



Fuente: Groves (2017a).

RDM (Groves y Lempert, 2007; Fischbach y otros, 2015) reconoce que puede no haber consenso sobre la situación futura en condiciones de incertidumbre profunda. En el cálculo del riesgo, en lugar de un “consenso sobre las suposiciones”, el enfoque de RDM busca un “consenso sobre posibles acciones”. Es decir, que el enfoque de RDM se abstiene de realizar predicciones explícitas sobre qué futuro ocurrirá en el cálculo de riesgo y, en su lugar, se enfoca en evaluar posibles acciones factibles para riesgos y beneficios asociados. El enfoque se centra en abordar la incertidumbre no mediante una cuantificación numérica explícita sino seleccionado acciones robustas que maximicen los beneficios en todo el rango de posibles condiciones futuras. Los modelos de decisión ascendentes (bottom-up) que comienzan con un rango de opciones estratégicas y evalúan el éxito de cada una con respecto al rango de posibles futuros tienen más probabilidades de identificar soluciones robustas y lograr consenso entre las partes interesadas, que suelen presentar cierto nivel de escepticismo. Visita el sitio de internet de Society for Decision Making Under Deep Uncertainty ingresando a www.deepuncertainty.org para conocer más detalles.

Este enfoque de RDM fue desarrollado por RAND Corporation y supone:

1. Identificar factores inciertos (**X**), instrumentos de política (**L**), relaciones del modelo del sistema (**R**) y medidas de desempeño (**M**) que, combinados, constituyen los **factores XLRM** (Fischbach y otros, 2015): La medida de desempeño (**M**) supone identificar los objetivos y medidas del problema de la decisión (por ej., la meta, lo que significa éxito, cómo se mide el éxito). El instrumento de política (**L**) supone identificar opciones de políticas que podrían cumplir con los objetivos políticos (el rango de posibles acciones). Identificar incertidumbres (**X**) implica identificar factores cuyas dimensiones son profundamente inciertas y podrían afectar el éxito de las opciones propuestas. Las relaciones del modelo del sistema (**R**) implica identificar cómo opera el sistema para poder construir un modelo de simulación.

2. Evaluar las opciones de planes en condiciones futuras (Fischbach y otros, 2015): En general, en el caso de la implementación del RDM completo, este paso consiste en modelos avanzados mecanicistas o de procesos que ejecutan combinaciones iterativas del rango de factores de entrada inciertos y opciones de gestión. El resultado se utiliza para interpretar el éxito o la falla con relación a las medidas de desempeño.
3. Evaluar la vulnerabilidad de las acciones (Fischbach y otros, 2015): El objetivo de esta acción es identificar condiciones vulnerables, es decir, escenarios en los cuales una opción determinada falla. A medida que la cantidad de factores inciertos aumenta y la matriz de posibles combinaciones de estos factores se vuelve hiper dimensional o no lineal, es cada vez más difícil identificar los que influyen en la falla de ciertas opciones. Esfuerzos avanzados de RDM utilizan modelado estadístico exploratorio multivariable (por ej., el método inductivo de reglas sobre pacientes o PRIM, por sus siglas en inglés) para superar este problema. El resultado de esta acción suele ser un espacio predictor reducido sobre el cual las opciones de gestión tienen éxito o fallan.
4. Considerar estrategias nuevas o híbridas: Luego de la tercera acción, es posible que se evidencien las estrategias robustas. No obstante, puede ocurrir que ninguna estrategia sea lo suficientemente robusta y, en la acción 4, se desarrollan y someten al proceso nuevamente opciones o estrategias de gestión nuevas o híbridas (Fischbach y otros, 2015). El proceso en sí puede ayudar a informar qué características de las opciones o estrategias alternativas nuevas son necesarias para mejorar las posibilidades de identificar opciones robustas.

Una vez completadas esas acciones, se habrá identificado las decisiones robustas que mejor se desempeñen bajo el mayor rango de incertidumbres futuras. Las decisiones robustas pueden no ser óptimas bajo ninguna condición en particular pero suelen ser exitosas con respecto a la mayor canti-

dad de futuros inciertos. De este modo, el enfoque de RDM tiene mucho en común con los enfoques de bajo bajas lamentaciones o ninguna lamentación.

Esto es parte importante del proceso de definición de metas y éxito durante la primera fase de los ejercicios de RDM. El enfoque de RDM suele buscar evitar una meta individual que puede requerir negociación entre las partes interesadas y busca definir el abanico de criterios de éxito con respecto a los cuales pueden hallarse soluciones. Por ejemplo, uno también podría definir escenarios de éxito utilizando MiniMax (minimizar la lamentación máxima, donde la lamentación es la diferencia entre el resultado óptimo y cualquier resultado en particular del modelo) o MaxiMin (maximizar la lamentación mínima). Consulta Groves y Lempert (2007) y Fischbach y otros (2015) para conocer más detalles.

El BID ya ha comenzado a trabajar con metodologías de RDM, en especial con el sector del transporte mediante lo que actualmente se conoce más comúnmente como Blue Spot Analysis o Análisis de puntos azules. Véase el DMDU Guidebook for Transportation Planning Under a Changing Climate (Lempert et al., n.d.) para ver más detalles de este enfoque. Esta guía fue preparada para y financiada por el BID y busca ayudar a los equipos de proyecto del BID, expertos técnicos, agencias ejecutoras y panificadoras y consultoras para realizar análisis de toma de decisiones robustas como un proceso de pensamiento para evaluar y tomar decisiones bajo un contexto de gestión del riesgo. Esta guía presenta los pasos metodológicos que son necesarios para la implementación de DMDU. Específicamente introduce y provee orientación para la aplicación de métodos de DMDU en la planificación del transporte y revisa estos métodos, incluyendo la planificación de escenarios, trayectorias adaptativas y toma de decisiones robustas (RDM).

Plan de gestión del riesgo de desastres

El PGRD debe documentar las medidas de mitigación (incluidas opciones estructurales y no estructurales), evaluación y hallazgos y las recomendaciones finales, incluida la priorización de medidas de mitigación. Con respecto a las medidas de mitiga-

ción estructurales y no estructurales, puedes consultar el Apéndice G. Es importante documentar la justificación de cada medida implementada en términos de (i) eficacia para alcanzar los objetivos de reducción de riesgo; (ii) eficiencia económica (beneficios netos positivos a partir de un ACB o determinación de eficacia de costos a partir de un AEC o AMC); (iii) una explicación cualitativa de la importancia del be-

neficio de la reducción de riesgo y (iv) un análisis del riesgo residual. En el desarrollo del Plan de Gestión de Riesgo de Desastres y Cambio Climático también es posible realizar actividades de concientización e involucramiento de las partes interesadas para identificar y priorizar opciones. A continuación consta un esquema general del Plan de Gestión de Riesgo de Desastres y Cambio Climático.

Introducción

5. Resumen de Evaluación del riesgo de desastres y cambio climático

- a. Riesgo estimado (por amenaza prioritaria)
 - i. Riesgo de línea de base sin el proyecto (especialmente para las comunidades aledañas)
 - ii. Riesgo con el proyecto (riesgo para la infraestructura y las operaciones y generación o exacerbación del riesgo para el entorno y las comunidades aledañas)

6. Identificación de opciones de gestión y reducción de riesgo

7. Evaluación y priorización de las opciones de gestión y reducción de riesgo

8. Plan de gestión

- a. Medidas enfocadas en la etapa de diseño del proyecto (relacionadas con la viabilidad del proyecto)
 - i. Medidas estructurales
 - ii. Medidas no estructurales
- b. Medidas enfocadas en las etapas de construcción y operación del proyecto
 - i. Durante la construcción
 - 1. Plan de acción a corto plazo
 - a. Para el proyecto
 - b. Para terceros (comunidades aledañas)
 - 2. Plan de acción a largo plazo
 - a. Para el proyecto
 - b. Para terceros (comunidades aledañas)
 - ii. Durante la operación
 - 1. Plan de acción a corto plazo
 - a. Para el proyecto
 - b. Para terceros (comunidades aledañas)
 - 2. Plan de acción a largo plazo
 - a. Para el proyecto
 - b. Para terceros (comunidades aledañas)

The background of the slide is a collage of three photographs. The top-left photo shows a wide, winding river with a light-colored, rocky bed flowing through a valley. The top-right photo shows a winding road or path that snakes through a hilly, brownish landscape. The bottom-right photo shows a worker in a white shirt and orange safety vest standing on a concrete structure, possibly a dam or a bridge, with a stone wall and greenery in the background.

7.

Consideraciones finales

7. Consideraciones finales

Si bien la evaluación del riesgo de desastres y cambio climático a nivel de proyecto es un tema relativamente nuevo, la ciencia y el conocimiento técnico están aumentando. Los países de la región han identificado la necesidad de contar con metodologías claras y recursos para realizar evaluaciones de riesgo para entender y abordar mejor la vulnerabilidad y la resiliencia, considerando a la vez variables inciertas como parte del proceso de toma de decisiones de un proyecto. En la mayoría de los países los proyectos son sometidos a un screening del riesgo para cumplir con la normativa del sistema

nacional de inversión pública. Existe escasa experiencia práctica en la realización de evaluaciones detalladas sobre riesgo de desastres y cambio climático durante la fase de preparación del proyecto debido a limitaciones en cuanto a financiamiento y experiencia y a la falta de entendimiento de las necesidades y los beneficios. Es necesario apoyar estos procesos y aumentar el desarrollo de capacidades sobre evaluación de riesgo a nivel de las agencias ejecutoras³¹. De hecho, actuar antes de que ocurran los desastres suele ser más económico (véase el Recuadro 7.1).

Recuadro 7.1. La resiliencia y la reducción del riesgo de desastres dan resultados

Según Resources for the Future (RFF) (Kousky, 2017), en EE.UU. la vasta mayoría del financiamiento federal para la reducción del riesgo de inundaciones se asigna una vez que los desastres ocurren, al igual que sucede en la mayoría de los países de América Latina. Esto presenta numerosas desventajas. En primer lugar, los fondos se gastan durante las fases de emergencia y reconstrucción en áreas inundadas, que no necesariamente son las de mayor riesgo, o donde los beneficios pueden otorgarse a más personas o donde se necesita más asistencia. Además, se dispone de menos tiempo para gastar los fondos de forma prudente. La asignación de una mayor proporción de financiamiento a programas de prevención de inundaciones podría mejorar la eficiencia del gasto (Kousky, 2017) porque con las actividades prospectivas hay más tiempo disponible para planificar y programar el desarrollo cuidadosamente. Además, resulta más eficiente porque los recursos pueden dirigirse a las áreas más riesgosas y a los proyectos con una mejor relación costo-beneficio.

Considerando que las pérdidas por desastres en la región de ALC aumentaron de aproximadamente US\$13.500 millones a US\$59.000 millones entre 1960 y 2015 (EM-DAT, Oficina de Estadística Laboral de EE.UU. y cálculos del personal del BID), que según el informe *Natural Disaster Hotspots: a global risk analysis* (Banco Mundial, 2005) 7 de los 15 países más expuestos a múltiples amenazas se encuentran en ALC y que el cambio climático agrega otro nivel de riesgo, las circunstancias de la región se tornan críticas^a. No obstante, ha quedado demostrado que la resiliencia y la prevención del riesgo de desastres generan beneficios de entre cuatro y siete veces los costos, en términos de pérdidas evitadas y reducidas (EIRD, 2011; Kull y otros, 2013; Micheler, 2015; MMC, 2005; Moench y otros, 2007). Por lo tanto, considerando este contexto queda claro que financiar medidas de resiliencia prospectivas es clave y, si bien inicialmente podría percibirse que las evaluaciones de riesgo requieren recursos adicionales durante la preparación del proyecto, finalmente rinden sus frutos ya que sirven para informar mejor los esfuerzos de reducción de riesgos y, por lo tanto, las estimaciones del financiamiento requerido para respuesta de emergencia una vez ocurrido el desastre y ayudan a priorizar medidas basadas en la relevancia y disponibilidad de recursos.

^a Cifras relacionadas con desastres ocurridos en ALC en el pasado: El huracán Mitch en América Central (oct. 1998) ocasionó pérdidas por US\$5.000 millones y 10.000 muertes, el deslizamiento de tierra en Venezuela (dic. 1999) ocasionó pérdidas por US\$1.790 millones y 30.000 muertes, el terremoto de Haití (ene. 2010) ocasionó pérdidas por US\$7.800 millones y más de 200.000 muertes, el terremoto de Chile (feb. 2010) ocasionó pérdidas por US\$30.000 millones, las inundaciones en Colombia (nov.-dic. 2010) ocasionaron pérdidas por US\$5.000 millones y 389 muertes, las inundaciones en Buenos Aires (abr. 2013) ocasionaron pérdidas por US\$100 millones y 100 muertes, el huracán Matthew en las Bahamas (oct. 2016) ocasionó pérdidas por US\$600 millones.

³¹ Los esfuerzos en el Banco para comenzar a abordar este tema incluyen dos cursos de capacitación sobre evaluación del riesgo de desastres (que incluyen los efectos del cambio climático) realizados en 2016 y 2017, el Cursillo particular en línea (Small Private Online Course o SPOC, por sus siglas en inglés) y el Curso integral abierto en línea (Massive Open Online Course o MOOC, por sus siglas en inglés) actualmente en desarrollo por parte de KIC, RND, CCS y ESG sobre evaluación del riesgo de desastres (que incluyen los efectos del cambio climático) para sistemas de inversión públicos, que fortalecerán aún más las capacidades en la región de ALC.

El desarrollo de esta Metodología responde a la necesidad de consolidar un marco conceptual para la gestión del riesgo de desastres y cambio climático que se pueda aplicar a todos los proyectos. Si bien la Metodología se desarrolló inicialmente enfocándose en proyectos con componentes de infraestructura, eventualmente incluirá otros proyectos relevantes. El enfoque de Aprendizaje Empírico fue crítico para lograr la actual Metodología, que mejorará a medida que se avance en su aplicación y se aprendan nuevas lecciones. Hasta la fecha, las lecciones aprendidas más importantes incluyen las siguientes: (a) la necesidad de que la metodología sea secuencial y gradual pero al mismo tiempo alineada y en cumplimiento con la política existente, y que los proyectos pasen por un análisis cualitativo antes de un análisis cuantitativo más complejo; (b) la necesidad de flexibilidad temporal en el desarrollo de la ERD (la instancia del ciclo del proyecto más adecuada para realizar la ERD para obtener recomendaciones más pertinentes y específicas dependerá de la naturaleza del proyecto); (c) que es sumamente beneficioso contar con una metodología basada en la Política pero que también pueda aplicarse mediante la implementación normal de proyectos como una buena práctica para lograr resiliencia; (d) el importante rol que desempeña la supervisión en la identificación

y evaluación del riesgo de desastres y cambio climático por parte de las agencias ejecutoras (el mantenimiento es clave, véase el Recuadro 7.2); (e) la importancia de involucrar a las contrapartes del proyecto para asegurar que las ERD influyeran en el diseño, la construcción y la operación del proyecto, según corresponda, y que se mantengan las medidas de reducción de riesgo para asegurar sostenibilidad; (f) la necesidad de reconocer que la experiencia aplicada en la realización de ERD a nivel de proyecto está en aumento pero aún no está normalizado, incluso si se considera a las empresas de ingeniería líderes, y por ello la importancia de trabajar en documentos metodológicos, en la realización de pruebas piloto y en el desarrollo de capacidades.

La aplicación de esta Metodología constituye una inversión clave. Junto con el Marco de Infraestructura Sostenible del Banco y los Compromisos de la Resolución de las Bahamas, la Política de Gestión del Riesgo de Desastres ofrece una oportunidad para el Banco y sus países clientes de reducir riesgos y agregar valor a los proyectos. En un contexto de cambio global, esto puede marcar una diferencia para que los países vulnerables puedan lograr el desarrollo sostenible.

Recuadro 7.2. El mantenimiento es crítico para mejorar la gestión del riesgo de desastres y cambio climático

Una acción crítica para reducir los riesgos es invertir en tareas de operación y mantenimiento para asegurar que el proyecto complete su vida útil y logre sus objetivos según lo establecido en su diseño y asegurar la resiliencia del proyecto ante cambios a largo plazo en las condiciones climáticas. La infraestructura no puede ser resiliente si su mantenimiento es deficiente. Como ya se analizó, los desastres son el resultado de la combinación de amenazas, exposición y vulnerabilidad, y un mantenimiento adecuado ayuda directamente a reducir la vulnerabilidad. Un informe elaborado por Gallego-López y DFID (Departamento para el Desarrollo Internacional del Reino Unido) destaca la importancia de aumentar los recursos necesarios para costear un mantenimiento adecuado y adaptar los sistemas de mantenimiento y operación a los nuevos patrones climáticos. También subraya la importancia de contar con cierto grado de redundancia en proyectos y mecanismos para una rápida recuperación luego de un shock. El informe recomienda cerrar la brecha entre la modelación y los diseños de ingeniería, por ejemplo, mediante la identificación de secciones de una vía que tienen mayor riesgo de inundarse utilizando modelos de riesgo con diferentes grados de severidad de inundación y diferentes alternativas de vías. En numerosos países el tráfico, la falta de mantenimiento y un drenaje deficiente ya constituyen problemas críticos que afectan la red vial.

El BID está abordando este problema mediante una serie de análisis de puntos azules^a y mediante la realización de evaluaciones de riesgo en proyectos relevantes. Este documento también establece que los mecanismos de screening basado en el clima son necesarios pero no suficientes porque son posteriores a las decisiones de inversión en lugar de precederlas y establecer el contexto para tomarlas (Gallego-López, 2016).

^a El modelo de puntos azules es un método para identificar áreas sensibles, específicamente en redes viales. Un punto azul se define como un tramo de ruta donde la posibilidad de inundación es relativamente elevada y donde sus consecuencias son significativas. La metodología de puntos azules se aplica a cualquier país si cuenta con los datos requeridos.

8. Referencias

- ADB (Banco Asiático de Desarrollo). 2015. Economic Analysis of Climate-Proofing Investment Projects, Mandaluyong City, Philippines: ADB.
- ANCOLD (Australian National Committee on Large Dams). 2003. Guidelines on Risk Assessment, Sydney, New South Wales, Australia. Disponible en <https://www.ancold.org.au/?product=guidelines-on-risk-assessment-2003>.
- Annaka, T., K. Satake, T. Sakakiyama, K. Yanagisawa y N. Shuto. 2007. Logic-tree Approach for Probabilistic Tsunami Hazard Analysis and its Applications to the Japanese Coasts. *Pure and Applied Geophysics*, 164: 577-92.
- Arora, J. S. 2012. Genetic Algorithms for Optimum Design. En: Arora, J. S., *Introduction to Optimum Design* (pp. 643-655). Oxford, Reino Unido: Elsevier Inc. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780123813756000164>.
- ASCE (American Society of Civil Engineers). 2016. ASCE/SEI 7-16 Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures. Reston, VA: ASCE.
- _____. 2010. ASCE/SEI 7-10 Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures. Reston, VA: ASCE.
- ATC (Applied Technology Council). 1985. ATC-13 Earthquake Damage Evaluation Data for California. Redwood City, CA: ATC.
- Baker, J. 2008. An Introduction to Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA). Disponible en [http://www.stanford.edu/~bakerjw/Publications/Baker_\(2008\)_Intro_to_PSHA_v1_3.pdf](http://www.stanford.edu/~bakerjw/Publications/Baker_(2008)_Intro_to_PSHA_v1_3.pdf).
- Banco Mundial. 2016. Agricultural Sector Risk Assessment: Methodological Guidance for Practitioners. Agriculture Global Practice Discussion Paper 10. Washington, D. C.: Banco Mundial. Disponible en <http://documents.worldbank.org/curated/en/586561467994685817/Agricultural-sector-risk-assessment-methodological-guidance-for-practitioners>.
- Barbat, A. H., F. Y. Moya y J. A. Canas. 1996. Damage scenarios simulation for seismic risk assessment in urban areas. *Earthquake Spectra*, 12 (3): 371-94. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/236121485_Damage_Scenarios_Simulation_for_Seismic_Risk_Assessment_in_Urban_Zones.
- Barbat, A. H., O. D. Cardona, Y. F. Vargas, J. E. Hurtado, L. G. Pujades, M. L. Carreño y M. C. Marulanda. 2013. Evaluación probabilista del riesgo sísmico en edificios. Presentación de Power Point. Presentada en Manizales, Colombia el 6 de junio de 2013. No publicado.
- Benavente, J., L. Del Río, F. J. Gracia y J. A. Martínez-del-Pozo. 2006. Coastal Flooding Hazard Related to Storms and Coastal Evolution in Valdelagrana Spit (Cadiz Bay Natural Park, Spain). *Continental Shelf Research*, 26(9): 1061-76. doi:10.1016/j.csr.2005.12.015.
- Bengtsson, J. y B. Tómasson. 2008. Vulnerability and Risk Analysis of the Road Infrastructure in Reykjavik. Reykjavik, Islandia: Línuhönnun. Disponible en [http://www.vegagerdin.is/vefur2.nsf/Files/Vulnerability_riskanalysis-PrelimReport/\\$file/Vulnerability_risk%20analysis-PrelimReport.pdf](http://www.vegagerdin.is/vefur2.nsf/Files/Vulnerability_riskanalysis-PrelimReport/$file/Vulnerability_risk%20analysis-PrelimReport.pdf).
- Benson, C. y J. Twigg. 2007. Tools for Mainstreaming Disaster Risk Reduction: Guidance Notes for Development Organisations. Ginebra, Suiza: International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies.
- Bernal, G. 2014. Metodología para la modelación, cálculo y calibración de parámetros de la amenaza sísmica para la evaluación probabilista del riesgo (Disertación doctoral). Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, España. Disponible en <https://www.tesisenred.net/handle/10803/284898>.
- Bernal, G. A., M. A. Escovar, D. Zuloaga y O. D. Cardona. 2017. Agricultural Drought Risk Assessment in Northern Brazil: An Innovative Fully Probabilistic Approach. In RiMa Editora (Ed.), *Reduction of Vulnerability to Disasters: From Knowledge to Action* (pp. 335-359). Santa Paula, Brasil: RiMa

Editora. Disponible en <https://www.preventionweb.net/publications/view/56269>.

Berndtsson, C. J. 2010. Green Roof Performance Towards Management of Runoff Water Quantity and Quality: A Review. *Ecological Engineering: The Journal of Ecotechnology*, 36(4): 351-60. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2009.12.014.

BID (Banco Interamericano de Desarrollo). Próximamente. Curso en línea titulado Disaster Risk Assessment. Washington, D.C.: BID.

_____. 2019. Resumen ejecutivo de la Metodología de Evaluación del Riesgo de Desastres y Cambio Climático: Documento técnico de referencia para equipos a cargo de proyectos del BID. Nota Técnica N° IDB-TN-01583. Washington, D.C.: BID.

_____. 2017. Control de Calidad desde la Perspectiva del Análisis del Riesgo de las Obras de Control de Inundaciones en el Río Cholutec (Quality Control From The Perspective of The Risk Analysis of Flood Control Works In The Cholutec River). Preparado para el Banco Interamericano de Desarrollo, Unidad de Salvaguardias Ambientales, por Ingeniería de Presas SL (iPresas).

_____. 2015. Documento Marco del Sector de Cambio Climático. Washington, D.C.: BID. Disponible en <http://www.iadb.org/document.cfm?id=40013909>.

_____. 2016. Resolución AG-6/16 y CII/AG-2/16. Washington, D.C.: BID. Disponible en: <http://www.iadb.org/document.cfm?id=EZSHA-RE-1983553961-1676>.

_____. 2013. Sustainable Infrastructure for Competitiveness and Inclusive Growth. Washington, D.C.: BID. Disponible en <https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/6398/Sustainable%20infrastructure%20for%20competitiveness%20and%20inclusive%20growth%20%20IDB%20Infrastructure%20Strategy.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

_____. 2008. Disaster Risk Management Policy Guidelines. Washington, D.C.: BID. Disponible en <http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=360026>.

_____. 2007. Disaster Risk Management Policy. Washington, D.C.: BID. Disponible en <http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getDocument.aspx?DOCNUM=35004515>

BID (Banco Interamericano de Desarrollo) y BID Invest. 2018. What is Sustainable Infrastructure? A Framework to Guide Sustainability Across the Project Cycle. Nota Técnica N° IDB-TN-1388. Washington, D.C.: BID. Disponible en: <https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/8798/What-is-Sustainable-Infrastructure-A-Framework-to-Guide-Sustainability-Across-%20the-Project-Cycle.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

BID (Banco Interamericano de Desarrollo) e iPresas Risk Analysis. Nota Metodológica: Impacto del cambio climático en la carretera RN5 (Haití). Valencia, España: iPresas Risk Analysis. Disponible en <https://www.iadb.org/Document.cfm?id=EZSHARE-69529135-44>.

BID-OVE. 2008 Evaluation of the Quality of Economic Analysis for Projects Approved 1997-2006. RE-346-2. Washington, D.C.: Banco Interamericano de Desarrollo.

Bouwer L., E. Papyrakis, J. Poussin, C. Pfurtscheller y A. Thieken. 2014. The Costing of Measures for Natural Hazard Mitigation in Europe. *Natural Hazards Review*, 15(4). Noviembre. Disponible en: <https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%29NH.1527-6996.0000133>.

Brenden, J. H. Winsemius, S. Fraser, S. Muis y P. Ward. 2018. Assessment and Adaptation to Climate Change Related Flood Risks. *Natural Hazard Science*. doi: 10.1093/acrefore/9780199389407.013.278

BSSC (Building Seismic Safety Council). 2004. NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures (FEMA 450). Disponible en <https://www.nehrp.gov/pdf/fema450provisions.pdf>.

Burbidge, D., P. R. Cummins, R. Mleczo y H. K. Thio, H.K. 2008. A Probabilistic Tsunami Hazard Assessment for Western Australia. *Pure and Applied Geophysics*. DOI 10.1007/s00024-008-0421-x.

Campos J., T. Serebrisky y A. Suárez-Alemán. 2016. Tasa de descuento social y evaluación de proyectos: algunas reflexiones prácticas para América Latina y el Caribe. Monografía BID. Washington, DC: Banco Interamericano de Desarrollo.

Cardona, O. D., G. A. Bernal, D. Zuloaga, M. A. Escovar, C. P. Villegas, D. M. González y J. F. Molina. 2017a. Sistema de Modelación de Amenazas y Riesgos de Bogotá. [Informe técnico]. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/313877863_SISTEMA_DE_MODELACION_DE_AMENAZAS_Y_RIESGO_DE_BOGOTA.

Cardona, O. D., G. A. Bernal, D. Zuloaga, M. A. Escovar, D. C. Suárez, M. P. Pérez, C. P. Villegas, J. F. Molina y J. C. Olaya. 2017b. Modelación probabilista de inundaciones en La Mojana [Informe técnico]. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/313878316_Modelacion_probabilista_de_inundaciones_en_La_Mojana.

Cardona, O. D., G. A. Bernal, M. G. Ordaz, M. A. Salgado, S. K. Singh, M. G. Mora y C. P. Villegas. 2015. Update on the Probabilistic Modelling of Natural Risks at Global Level: Global Risk Model. En Documento de Referencia elaborado para el Informe de Evaluación Global sobre la Reducción del Riesgo de Desastres 2015. Disponible en <https://www.unisdr.org/we/inform/publications/49730>.

Cardona, O. D., G. A. Bernal, M. G. Ordaz, M. A. Salgado, S. K. Singh, M. G. Mora, L. E. Yamín y A. H. Barbat. 2013. Probabilistic Modelling of Natural Risks at Global Level: Global Risk Model. En Documento de Referencia elaborado para el Informe de Evaluación Global sobre la Reducción del Riesgo de Desastres 2013. Disponible en https://www.preventionweb.net/english/hyogo/gar/2013/en/bgdocs/CIMNE%20ET%20AL%20Global%20Risk%20Model%20GAR-2013_Tables%20ENGr%20v2.pdf.

Cardona, O. D., M. G. Ordaz, E. Reinoso, L. E. Yamín y A. H. Barbat. 2011. Enfoque integral para la evaluación probabilista del riesgo (CAPRA): iniciativa internacional para la efectividad de la gestión del riesgo de desastre. Granada, España. Disponible en <https://www.semanticscholar.org/paper/Enfoque-integral-para-la-evaluaci%C3%B3n-probabilista-la-Cardona-Ordaz/b3337742ec068dcd4358d458acebe401440d4906>

Changhai, L., K. Ikeda, R. Rasmussen, M. Barlage, A. J. Newman, A. F. Prein, F. Chen, L. Chen, M. Clark, A. Dai, J. Dudhia, T. Eidhammer, D. Gochis, E. Gutmann, S. Kurkute, Y. Li, G. Thompson y D. Yates. 2017. Continental-scale Convection-Permitting Modeling of the Current and Future Climate of North America. *Climate Dynamics*, 49: 71-95.

CIESIN (Center for International Earth Science Information Network), Columbia University, IFPRI (International Food Policy Research Institute), Banco Mundial y CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 2011. Global Rural-Urban Mapping Project, Version 1 (GRUMPv1): Urban Extents Grid (Africa). Palisades, NY: NASA Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC). Disponible en <http://sedac.ciesin.columbia.edu/data/set/grump-v1-urban-extents/maps>.

CIMNE (Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería), ITEC (Ingeniería Técnica y Científica) e INGENIAR, EAI (Engineering Advise International). 2013a. Physical Vulnerability Functions Facing Each Hazard. En Documento de Referencia elaborado para el Informe de Evaluación Global sobre la Reducción del Riesgo de Desastres 2013, Probabilistic Modeling of Natural Risks at the Global Level: Global Risk Model. Ginebra, Suiza: CIMNE.

_____. 2013b. Disaster Risk Assessment. En Documento de Referencia elaborado para el Informe de Evaluación Global sobre la Reducción del Riesgo de Desastres 2013, Probabilistic Modeling of Natural Risks at The Global Level: Global Risk Model. Ginebra, Suiza: CIMNE.

Cornell, A. 1968. Engineering Seismic Risk Analysis. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 58(5): 1583-1606.

Couture, R. 2011. Landslide Terminology - National Technical Guidelines and Best Practices on Landslides. Geological Survey of Canada, Open File 6824. Disponible en: http://publications.gc.ca/collections/collection_2015/rncan-nrcan/M183-2-7623-eng.pdf.

Cox, L. A. Jr. 2012. Confronting Deep Uncertainties in Risk Analysis. *Risk Analysis*, 32(10):1607-29.

CWC-INDIA (Comisión Central del Agua de la India). 2018. Guidelines for Assessing and Managing Risks Associated with Dams. Disponible en https://www.damsafety.in/ecm-includes/PDFs/Guidelines_on_Risk_Analysis.pdf.

Daniels, A. E., J. F. Morrison, L. A. Joyce, N. L. Crookston, S. C. Chen y S.G. McNulty. 2012. Climate Projections FAQ. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-2777WWW. Fort Collins, CO: Rocky Mountain Research Station, Departamento de Agricultura de EE.UU., Servicio Forestal.

Dankers, R., N. W. Arnell, D. B. Clark, P. D. Falloon, B. M. Fekete, S. N. Gosling, J. Heinke, H. Kim, Y. Masaki, Y. Satoh, T. Stacke, Y. Wada y D. Wisser. 2014. First Look at Changes in Flood Hazard in the Inter-Sectoral Impact Model Intercomparison Project Ensemble. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111: 3257-61. Disponible en <https://www.pnas.org/content/111/9/3257>

De Bruin, K., R. B. Dellink, A. Ruijs, L. Bolwidt, A. Van Buuren, J. Graveland, R. S. De Groot, P. J. Kuikman, S. Reinhard, R. P. Roetter, V. C. Tassone, A. Verhagen y E. C. Van Ierland. 2009. Adapting to Climate Change in The Netherlands: An Inventory of Climate Adaptation Options and Ranking of Alternatives. *Climatic Change* 95(1): 23-45. <http://econadapt-toolbox.eu/multi-criteria-analysis>.

de Moel H., B. Jongman, H. Kreibich, B. Merz, E. Penning-Rowsell y P. J. Ward. 2015. Flood Risk Assessments at Different Spatial Scales. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 20(6): 865-90.

Ditlevsen, M., R. Chen, U. Deichmann, A. Lerner-Lam, M. Arnold, J. Agwe, P. Buys, O. Kjevstad, B. Lyon y G. Yetman. 2005. Natural Disaster Hotspots, A Global Risk Analysis. Disaster Risk Management Series, (5). Washington, D.C.: Banco Mundial. Disponible en: <http://documents.worldbank.org/curated/en/621711468175150317/Natural-disaster-hotspots-A-global-risk-analysis>

Ditlevsen, O. y H. O. Madsen. 2005. Structural Reliability Methods. Monografía. Ingeniería Costera, Marítima y Estructural, Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad Técnica de Dinamarca, Lyngby, Dinamarca. Disponible en <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.121.3682&rep=rep1&type=pdf>.

Dixon J. 2012. Economic Cost-Benefit Analysis (CBA) of Project Environmental Impacts and Mitigation Measures: Implementation Guideline. Nota Técnica BID 428. Washington, D.C.: Banco Interamericano de Desarrollo.

Ebersole, B. A., J. J. Westerink, S. Bunya, J. C. Dietrich y M. A. Cialone. 2010. Development of Storm Surge which Led to Flooding in St. Bernard Polder during Hurricane Katrina. *Ocean Engineering*, 37(1): 91-103. doi:10.1016/j.oceaneng.2009.08.013.

EM-DAT. 2013. The OFDA/CRED International Disaster Data Base. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters. Université Catholique de Louvain, Louvain, Bélgica. Disponible en: www.emdat.be/Database/

Engineers Canada. 2016. PIEVC Engineering Protocol for Infrastructure Vulnerability Assessment and Adaptation to a Changing Climate, Principles and Guidelines. Disponible en https://pievc.ca/sites/default/files/pievc-protocol-principles-guidelines-june-2016-part_1-e.pdf

ERN-AL Consultores en Riesgos y Desastres. 2012. Perú: Gestión de Riesgo de Desastres en Empresas de Agua y Saneamiento Tomo II: Elementos de Política y Estrategias de Protección Financiera. Noviembre 2012. Water and Sanitation Program. Washington, D.C.: Banco Mundial.

_____. s.f. a. Informe Técnico ERN-CAPRA T1-1 Componentes Principales del Análisis de Riesgo. Tomo I Metodología de Modelación Probabilista de Riesgos Naturales. Disponible en <https://ecapra.org/sites/default/files/documents/ERN-CAPRA-R6-T1-1%20-%20Componentes%20Principales%20del%20Análisis%20de%20Riesgos.pdf>.

_____. s.f. b. Informe Técnico ERN-CAPRA T1-2 Descripción General de Amenazas Naturales. Tomo I Metodología de Modelación Probabilista de Riesgos Naturales. Disponible en <https://ecapra.org/sites/default/files/documents/ERN-CAPRA-R6-T1-2%20-%20Descripci%C3%B3n%20General%20de%20Amenazas.pdf>.

_____. s.f. c. Informe Técnico ERN-CAPRA T1-3 Modelos de Evaluación de Amenazas Naturales y Selección. Tomo I Metodología de Modelación Probabilista de Riesgos Naturales. Disponible en <https://ecapra.org/sites/default/files/documents/ERN-CAPRA-R6-T1-3%20-%20Modelos%20de%20Evaluaci%C3%B3n%20de%20Amenazas.pdf>.

_____. s.f. d. Informe Técnico ERN-CAPRA T1-4 Metodología de Definición del Inventario de Activos Expuestos. Tomo I Metodología de Modelación Probabilista de Riesgos Naturales. Disponible en <https://ecapra.org/sites/default/files/documents/ERN-CAPRA-R6-T1-4%20-%20Metodolog%C3%ADa%20de%20definici%C3%B3n%20del%20inventario%20de%20activos%20expuestos.pdf>.

_____. s.f. e. Informe Técnico ERN-CAPRA T1-5 Vulnerabilidad de Edificaciones e Infraestructura. Tomo I Metodología de Modelación Probabilista de Riesgos Naturales. Disponible en <https://ecapra.org/sites/default/files/documents/ERN-CAPRA-R6-T1-5%20-%20Vulnerabilidad%20de%20Edificaciones%20e%20Infraestructura.pdf>.

_____. s.f. f. Informe Técnico ERN-CAPRA T1-6 Metodología de Análisis Probabilista del Riesgo. Tomo I Metodología de Modelación Probabilista de Riesgos Naturales. Disponible en <https://ecapra.org/sites/default/files/documents/ERN-CAPRA-R6-T1-6%20-%20Metodolog%C3%ADa%20de%20An%C3%A1lisis%20de%20Riesgos.pdf>.

Escuder-Bueno, I. y J. González-Pérez. 2014. Metodología para la evaluación del riesgo hidrológico de presas y priorización de medidas correctoras. Madrid, España: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. ISBN 978-84-380-0465-4.

Escuder-Bueno, I., A. Jovani, J. Moralo-García y J. M. Alonso-Muñoz. 2016. Risk Governance Implementation for a Cascade System on Drini River, Albania. International Commission on Large Dams Asamblea Annual 2016. Johannesburg, Sudáfrica.

Comisión Europea. 2010. Commission Staff Working Paper: Risk Assessment and Mapping Guidelines for Disaster Risk Management. Disponible en https://ec.europa.eu/echo/files/about/COMM_PDF_SEC_2010_1626_F_staff_working_document_en.pdf.

Felton, E. y K. Crook. 2006. Evaluating the Impacts of Huge Waves on Rocky Shorelines: An Essay Review of the Book Tsunami—The Underrated Hazard. *Marine Geology*, 197(4): 1-12. DOI: 10.1016/S0025-3227(03)00086-0.

FEMA (Federal Emergency Management Agency). s.f. a. Hazus MH 2.1 Multihazard Loss Estimation Methodology, Earthquake Model, Technical Manual. Disponible en www.fema.gov/plan/prevent/hazus.

_____. s.f. b. Hazus MH 2.1 Multihazard Loss Estimation Methodology, Flood Model, Technical Manual. Disponible en https://www.fema.gov/media-library-data/20130726-1820-25045-8292/hzmh2_1_fl_tm.pdf.

_____. s.f. c. Hazus MH 2.1 Multihazard Loss Estimation Methodology, Hurricane Model, Technical Manual. Disponible en https://www.fema.gov/media-library-data/20130726-1820-25045-9850/hzmh2_1_hr_tm.pdf.

_____. 2017. Hazus Tsunami Model, Technical Guidance. Disponible en https://www.fema.gov/media-library-data/1511284000276-4f18206fb0c7bab3c5ecbbdbf504b9fd/Hazus_40_Tsunami_Tech_Manual.pdf.

_____. 2012. Guidelines for Design of Structures for Vertical Evacuation from Tsunamis, FEMA P646. Federal Emergency Management Agency. Washington, D.C: FEMA.

_____. 2000. FEMA-350 Recommended Seismic Design Criteria for New Steel Moment-Frame Buildings. Disponible en <http://www.fema.gov/media-library-data/20130726-1454-20490-9895/fema-350.pdf>.

_____. 1997. FEMA's Multi-Hazard Identification and Risk Assessment (MHIRA). Disponible en <https://www.fema.gov/media-library/assets/documents/7251>.

Fischbach, J. R., R. J. Lempert, E. Molina-Perez, A. Tariq, M. L. Finucane y F. Hoss. 2015. Managing Water Quality in the Face of Uncertainty: A Robust Decision-making Demonstration for EPA's National Water Program. Santa Mónica, CA: RAND Corporation.

Flint, L. E. y A. L. Flint. 2012. Downscaling Future Climate Scenarios to Fine Scales for Hydrologic and Ecological Modeling and Analysis. *Ecological Processes*, 1: 15.

Forestry Canada Fire Danger Group. 1992. Development and Structure of the Canadian Forest Fire Behavior Prediction System. Ottawa, Canadá: Forestry Canada.

Franchin, P., F. Cavalieri y P. Pinto. 2012. Proceedings of the 15 World Conference on Earthquake Engineering: Validating IM-based Methods for Probabilistic Seismic Performance Assessment with Higher-Level Non-Conditional Simulation. Lisboa, Portugal.

Frank, N. y S. Husain. 1971. The Deadliest Tropical Cyclone in History? Bulletin of the American Meteorological Society. *American Meteorological Society*, 52(6): 438. doi:10.1175/1520-0477(1971)052<0438:TDTCIH>2.0.CO;2.

Gabet, E. J., B. A. Pratt-Situala y D. W. Burbank. 2004. Climatic Controls on Hillslope Angle and Relief in the Himalayas. *Geology*. 32(7): 629-32.

Gallego-Lopez, C. y J. Essex. 2016. Designing for Infrastructure Resilience. Disponible en: <https://www.preventionweb.net/publications/view/50247>

Galloway, G. E. 2011. If stationarity is dead, what do we do now? *Journal of the American Water Resources Association*, 47(3): 563-70, doi:10.1111/j.1752-1688.2011.00550.x.

Garson, G. D. 2012. The Delphi Method in Quantitative Research. Asheboro, NC: Statistical Associates Publishers.

Geist, E. y T. Parsons. 2006. Probabilistic Analysis of Tsunami Hazards. *Natural Hazards*, 37(3): 277-314.

GEM (Global Earthquake Model). s.f. GEM Earthquake Consequence Database [base de datos en línea]. Disponible en: <https://gemecd.org/>.

Gernay, T., N. E. Khorasani y M. Garlock. 2018. Fire Fragility Functions for Steel Frame Buildings: Sensitivity Analysis and Reliability Framework. *Fire Technology*, 4: 1-36. Disponible en https://jscholarship.library.jhu.edu/bitstream/handle/1774.2/59853/data/2018-FIRE-Author_version-Gernay_Fragility-Sensitivity.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

_____. Fire Fragility Curves for Steel Buildings in a Community Context: A Methodology. *Engineering*

Structures, 113: 259-76.

_____. 2015. Proceedings of the First International Conference on Structural Safety Under Fire and Blast: Fragility Analysis of a Steel Building in Fire. Glasgow, Reino Unido. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/281614404_Fragility_analysis_of_a_steel_building_in_fire.

González, F.I., G.E.L., B. Jaffe, U. Kanoglu, H. Mofjeld, C. E. Synolakis, V. V. Titov, D. Arcas, D. Bellomo, D. Carlton, T. Horning, J. Johnson, J. Newman, T. Parsons, R., Peters, C. Peterson, G. Priest, A. Venturato, J. Weber, F. Wong y A. Yalciner. 2009. Probabilistic Tsunami Hazard Assessment at Seaside, Oregon, for Near- and Far-Field Seismic Sources. *Journal of Geophysical Research*, 114: 1-19. DOI 10.1029/2008JC005132.

GOSR (New York State Governor's Office of Storm Recovery). 2017a. Living with the Bay Program (LWTB) Resiliency Strategy. Parte de la iniciativa Hurricane Sandy Recovery Rebuild by Design financiada por el Departamento de Vivienda y Desarrollo Urbano de EE.UU. (HUD, por sus siglas en inglés). Septiembre de 2017. Disponible en: <https://stormrecovery.ny.gov/sites/default/files/crp/community/documents/Resiliency%20Strategy.pdf>.

_____. 2017b. Living with the Bay Program (LWTB) Resiliency Strategy, Task f. Prioritization of Projects and Actions (Key Objective 6). Disponible en <https://stormrecovery.ny.gov/sites/default/files/crp/community/documents/Objective%206.pdf>.

Grossi, P. 2005. Catastrophe Modeling: A New Approach to Managing Risk 25. Berlin/Heidelberg, Germany: Springer Science & Business Media.

Groves, D. 2017. Overview of Decision Making Under Deep Uncertainty. Diapositivas de Power Point. No publicado.

Groves, D. G. y R. J. Lempert. 2007. A New Analytical Method for Finding Policy-Relevant Scenarios. *Global Environmental Change*, 17(1):73-85.

Geosyntec Consultants, Inc. y Wright Water Engineers, Inc. 2012. International Stormwater Best Management Practices (BMP) Database Technical Summary: Manufactured Devices Performance Summary. Desarrollado con el apoyo de WERF,

FHWA, EWRI/ASCE y EPA.

Getter, K. L. y D. B. Rowe. 2006. The Role of Extensive Green Roofs in Sustainable Development. *Horticultural Science* 41(5): 1276-85.

Guzzetti, F., P. Reichenbach, M. Cardinali, M. Galli y F. Ardizzone. 2005. Probabilistic Landslide Hazard Assessment at the Basin Scale. *Geomorphology* 72: 272-99. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169555X05001911>.

GVM (Global Volcano Model) y IAVCEI (International Association of Volcanology and Chemistry of the Earth's Interior). 2015. Global Volcanic Hazards and Risk. Documento de antecedentes técnicos desarrollado para el Informe de Evaluación Global sobre Reducción del Riesgo de Desastre 2015. Ginebra, Suiza: UNISDR. Disponible en <https://www.preventionweb.net/english/hyogo/gar/2015/en/bgdocs/GVM,%202014b.pdf>.

Haimes Y. Y. 2009. Risk Modeling, Assessment, and Management. 3a edición. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.

Hallegatte S. y V. Przyluski. 2010. The Economics of Natural Disasters: Concepts and Methods Policy Research Working Paper 5507. Washington, DC: Banco Mundial.

Hallegatte, S., A. Vogt-Schib, M. Bangalore y J. A. Rozenberg. 2017. Unbreakable: Building the Resilience of the Poor in the Face of Natural Disasters. Washington, D.C.: Banco Mundial. Disponible en: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/25335>.

Hallowell, M. R. y J. A. Gambatese. 2010. Qualitative Research: Application of the Delphi Method to CEM Research. *Journal of Construction Engineering and Management*, 136(1): 99-107. Disponible en: <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%-29CO.1943-7862.0000137>

Harris, R. M. B., T. A. Remenyi, G. J. Williamson, N. L. Bindoff y D. Bowman. 2016. Climate-Vegetation-Fire Interactions and Feedbacks: Trivial Detail or Major Barrier to Projecting the Future of the Earth System? *WIREs Climate Change*, 7(6): 910-31. DOI: 10.1002/wcc.428

Hathaway, J. M. y W. F. Hunt. 2010. An Evaluation of Wetlands in Series in Piedmont, North Carolina. *Journal of Environmental Engineering*, 136(1): 140-46.

Hebert, H., F. Schindele, Y. Altino, B. Alpar y C. Gazioglu. 2005. Tsunami Hazard in the Marmara Sea (Turkey): A Numerical Approach to Discuss Active Faulting and Impact on the Istanbul Coastal Areas. *Marine Geology*, 215: 23-43. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0025322704003238>

Herron H., S. Roy, B. Bohn, C. Courtney y H. Hoagland-Grey. 2015. Addressing Climate Change within Disaster Risk Management. A Practical Guide for IDB Project Preparation Environmental Safeguards Unit TECHNICAL NOTE N° IDB-TN-806. Washington, D.C.: Banco Interamericano de Desarrollo.

Hijmans, R. J., L. Guarino, M. Cruz y E. Rojas. 2001. Computer Tools for Spatial Analysis of Plant Genetic Resources Data. 1. DIVA-GIS. *Plant Genetic Resources Newsletter* 127: 15-19.

Horspool, N., I. Pranantyo, J. Griffin, H. Latief, D. H. Natawidjaja, D.H. Kongko, A. Cipta, A. Bustman y H. K. Thio. 2014. A Probabilistic Tsunami Hazard Assessment for Indonesia. *Natural Hazards and Earth Systems Science*, 14: 3105-22.

Huizinga, J., H. de Moel W. Szewczyk 2017. Global Flood Depth-Damage Functions – Methodology and the Database with Guidelines. Luxemburgo, Luxemburgo: Oficina de publicaciones de la Unión Europea. Disponible en <https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/global-flood-depth-damage-functions-methodology-and-database-guidelines>.

IFC (Corporación Financiera Internacional). 2011. Climate Change Risk and Business, Hydropower, Kafue Gorge, Lower Zambia. Washington, D.C.: IFC. Disponible en http://www.ifc.org/wps/wcm/connect/1464ab804aa801b1a2f7f29e0dc67fc6/ClimateRisk_Hydro_Zambia_ExecSummary.pdf?MOD=AJPERES.

Informa UK Ltd. 2008. A Guide to Catastrophe Modelling. The Review Worldwide Insurance. Disponible en https://forms2.rms.com/rs/729-DJX-565/images/rms_guide_catastrophe_modeling_2008.pdf

IPCC (Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático). 2014. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Aporte del Grupo de Trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY: Cambridge University Press.

_____. 2012. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. Informe Especial de los Grupos de Trabajo I y II del Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY: Cambridge University Press. Disponible en: <http://www.ipcc.ch/report/srex/>

_____. 2007a. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Climate Change 2007: Synthesis Report. Aporte de los Grupos de Trabajo I, II y III al Cuarto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, IPCC.

_____. 2007b. IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007, Working Group I: The Physical Science Basis, FAQ 3.2 How is Precipitation Changing? Disponible en https://archive.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/faq-3-2.html.

Irizarry, J., N. Lantada, L. G. Pujades, A. H. Barbat, X. Goula, T. Susagna y A. Roca. 2011. Ground-shaking Scenarios and Urban Risk Evaluation of Barcelona Using the Risk-UE Capacity Spectrum Based Method. *Bull Earthquake Eng*, 9: 441-66. Disponible en <https://link.springer.com/article/10.1007/s10518-010-9222-6#citeas>.

Jibson, R. W., E. L. Harp y J. A. Michael. 1998. A Method for Producing Digital Probabilistic Seismic Landslide Hazard Maps—An Example from the Los Angeles, California, Area. U.S. *Geological Survey*, informe de archivo abierto: 98-113.

_____. 2000. A Method For Producing Digital Probabilistic Seismic Landslide Hazard Maps. *Engineering Geology*, 58, pp. 271-89.

Johansson, J., H. Hassel y E. Zio. 2013. Reliability and Vulnerability Analyses of Critical Infrastructures:

Comparing Two Approaches in the Context of Power Systems. *Reliability Engineering and System Safety*, 120: 27-38. DOI: 10.1016/j.res.2013.02.027.

Jongman, B., J. H. Winsemius, S. Fraser, S. Muis y P. Ward. 2018. Assessment and Adaptation to Climate Change-related Flood Risks. *Natural Hazard Science*. Disponible en: <https://oxfordre.com/naturalhazardscience/view/10.1093/acrefore/9780199389407.001.0001/acrefore-9780199389407-e-278> doi: 10.1093/acrefore/9780199389407.013.278.

Jubb, I., P. Canadell y M. Dix. s.f. Representative Concentration Pathways. Australian Climate Change Science Program. Disponible en: http://www.cawcr.gov.au/projects/Climatechange/wp-content/uploads/2016/11/ACCSP_RCP.pdf.

Kanungo, D., M. Arrora, S. Sarkar y R. Gupta. 2009. Landslide Susceptibility Zonation (LSZ) Mapping--A Review. *Journal of South Asian Disaster Studies*, 2: 81-105.

Katsetsiadou, K. N., E. Andreadakis y E. Lekkas. 2016. Tsunami Intensity Mapping: Applying the Integrated Tsunami Intensity Scale (ITIS2012) on Ishinomaki Bay Coast after the Mega-tsunami of Tohoku, March 11, 2011. *Research in Geophysics*, 5(1).

Keipi, K., S. Mora y P. Bastidas. 2005. *La gestión del riesgo dentro del ciclo de los proyectos: Lista de preguntas indicativas* (documento ENV 144). Washington, D.C.: Banco Interamericano de Desarrollo.

Khorasani, N. E., T. Gernay y M. Garlock. 2016. Proceedings from the 9th Conference on Structures in Fire (SiF 2016): Fire Fragility Functions for Community Resilience Assessment. Pp. 909-916. Princeton University, Princeton, NJ. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/304900937_Fire_fragility_functions_for_community_resilience_assessment.

Kirby, J. T., G. Wei, Q. Chen, A. B. Kennedy y R. A. Dalrymple. 1998. FUNWAVE 1.0, Fully Nonlinear Boussinesq Wave Model. Documentación y Manual para el usuario. Report CACR98-06. Newark, DE: Center for Applied Coastal Research, University of Delaware. Disponible en <https://csdms.colorado.edu/mediawiki/images/Cacr-98-06.pdf>.

Knapp, K. R., M. C. Kruk, D. H. Levinson, H. J.

- Diamond y C. J. Neumann. 2010. The International Best Track Archive for Climate Stewardship (IBTrACS), Unifying Tropical Cyclone Data. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 19(3): 363-76. Disponible en <https://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/2009BAMS2755.1>.
- Kopp, R.E., R. M. Horton, C. M. Litle, J. X. Mitrovica, M. Oppenheimer, D. J. Rasmussen, B. H. Strauss y C. Tebaldi. 2014. Probabilistic 21st and 22nd Century Sea-Level Projections at a Global Network of Tide-Gauge Sites. *Earth's Future*, 2: 383-406. DOI: 10.1002/2014ef000239.
- Kousky, C. y L. Shabman. 2017. Reducing Risk After the Flood. Resources, 194. Disponible en: <http://www.rf.org/research/publications/reducing-risk-after-flood>
- Kull, D., R. Mechler y S. Hochrainer-Stigler. 2013. Probabilistic Cost-Benefit Analysis of Disaster Risk Management in a Development Context. *Disasters*, 37(3):374-400.
- Kuriakose, S. 2010. Physically Based Dynamic Modeling of the Effect of Land Use Changes on Shallow Landslide Initiation in the Western Ghats of Kerala. India. University of Twente, Países Bajos.
- Kurian, N. P., N. Nirupama, M. Baba, K. V. Thomas. 2009. Coastal Flooding Due to Synoptic Scale, Meso-Scale and Remote Forcings. *Natural Hazards*, 48(2): 259-73. doi:10.1007/s11069-008-9260-4.
- Landman, W. A., S. J. Mason, P. D. Tyson y W. J. Tennant. 2001. Statistical Downscaling of GCM Simulations to Streamflow. *Journal of Hydrology*, 252: 221-36.
- Lazar, N. y M. Dolsek. 2012. Proceedings from the 15th World Conference in Earthquake Engineering: Risk-based Seismic Design - An Alternative to Current Standards for Earthquake-Resistant Design of Buildings. Lisboa, Portugal.
- Legg, M. R., J. C. Borrero y C. E. Synolakis. 2004. Tsunami Hazards Associated with the Catalina Fault in Southern California. *Earthquake Spectra*, 20(3): 917-50. Disponible en <https://earthquakespectra.org/doi/abs/10.1193/1.1773592>.
- Lin, I. y C. C. Tung. 1982. A Preliminary Investigation of Tsunami Hazard. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 72: 2323-37.
- Liu, C., K. Ikeda, R. Rasmussen, M. Berlage, A. J. Newman, A. F. Prein, F. Chen, L. Chen, M. Clark, A. Dai, J. Dudhia, T. Eidhammer, D. Gochis, E. Gutmann, S. Kurkute, Y. Li, G. Thompson y D. Yates. 2017. Continental-scale Convection-Permitting Modeling of the Current and Future Climate of North America. *Climate Dynamics*, 49(1-2): 71-95. Disponible en <https://link.springer.com/article/10.1007/s00382-016-3327-9>.
- Lorito S., M. M. Tiberti, R. Basili, A. Piatanesi y G. Valensise. 2008. Earthquake-generated Tsunamis in the Mediterranean Sea: Scenarios of Potential Threats to Southern Italy. *Journal of Geophysical Research*, 113. B01301 DOI:10.1029/2007JB004943.
- Løvholt F.S. Glimsdal, C. Harbitz, N. Horspool, H. Smebye, A. Del Bono y F. Nadim. 2014a. Global Tsunami Hazard and Exposure Due to Large Co-Seismic Slip. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 10, Part B: 406-18. DOI:10.1016/j.ijdr.2014.04.003.
- Løvholt F., Harbitz, C., Nadim, F., Birkmann, J., Setiadi, N.J., Bach, C., Fernando, N. 2014b. Tsunami Risk Reduction: Are we better prepared today than in 2004? Input Paper Prepared for the Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction 2015. Disponible en <https://www.preventionweb.net/english/hyogo/gar/2015/en/bgdocs/Lovholt%20et%20al.,%202014.pdf>.
- Løvholt F., S. Glimsdal, C. Harbitz, N. Zamora, F. Nadim, P. Peduzzi, H. Dao y H. Smebye. 2012. Tsunami Hazard Exposure on the Global Scale. *Earth-Science Review*, 110: 1-4.
- Maraun, D., F. Wetterhall, A. M. Ireson, R. E. Chandler, E. J. Kendon, M. Widmann, S. Brien, H. W. Rust, T. Sauter, M. Theme, V. K. C. Venema, K. P. Chun, C. M. Goodess, R. G. Jones. 2010. Precipitation Downscaling Under Climate Change: Recent developments to bridge the gap between dynamical models and the end user. *Review of Geophysics*, 48 (3).
- Maqsood, T., M. Wehner, H. Ryu, M. Edwards, K. Dale y V. Miller. 2014. GAR15 Vulnerability Functions: Reporting on the UNISDR/GA SE Asian Regional Workshop on Structural Vulnerability Models for the GAR Global Risk Assessment, November 11-14,

2013. Geoscience Australia: Canberra. <http://dx.doi.org/10.11636/Record.2014.038>.

Martins Nogueira, M. F. y A. Alarcón. 2019. Impacto de las paradas en la generación hidroeléctrica de Brasil. Manoel Fernandes Martins Nogueira y Arturo Alarcon. Nota técnica. Washington, D.C.: Banco Interamericano de Desarrollo. Disponible en <https://publications.iadb.org/en/publication/18556>.

Mearns, L. O., M. S. Bukovsky, S. C. Pryor y V. Magaña. 2014. Downscaling of Climate Information. In G. Ohring (ed.), *Climate Change in North America. Regional Climate Studies*. Nueva York, NY: Springer International Publishing.

Mearns, L., W. Gutowski, R. Jones, R. Leung, S. McGinnig, A. Nunes y Y. Qian. 2009. A Regional Climate Change Assessment Program for North America. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 90.

Mechler, R. 2016. Reviewing Estimates of the Economic Efficiency of Disaster Risk Management: Opportunities and Limitations of Using Risk-Based Cost-Benefit Analysis. *Natural Hazards*, 81(3): 2121-47. <https://doi.org/10.1007/s11069-016-2170-y>.

Meehl, G. A. y C. Tebaldi. 2004. More Intense, more Frequent, and Longer Lasting Heat Waves in the 21st Century. *Science*, 305: 994-97. Disponible en <https://science.sciencemag.org/content/305/5686/994>.

Milly, P.C.D., J. Betancourt, M. Falkenmark, R. M. Hirsch, Z. W. Kundzewicz, D. P. Lettenmaier y R. J. Stouffer. 2008. Stationarity is Dead: Whither water management? *Science*, 319: 573-4. DOI:10.1126/science.1151915.

Miranda, E. 1999. Approximate Seismic Lateral Deformation Demands in Multistory Buildings. *Journal of Structural Engineering*, 125(4) abril.

Moench, M., R. Mecheler y S. Stapleton. 2007. Guidance Note on the Cost and Benefits of Disaster Risk Reduction. ISDR Global Platform on Disaster Risk High Level Dialogue, 4-7 de junio.

Moftakhari, H., J. Schubert, A. Agha Kouchak, A. Matthew y B. Sanders. 2019. Linking statistical and hydrodynamic modeling for compound flood hazard assessment in tidal channels and estuaries. *Advances in Water Resources*, 128:28-38. Doi: 10.1016/j.advwatres.2019.04.009.

Mohammadi, J. 2013. Structural Reliability Course [apuntes de clase]. No publicado.

Morales-Torres A., I. Escuder-Bueno, A. Serrano-Lombillo y J. Castillo-Rodríguez. 2019. Dealing with Epistemic Uncertainty in Risk-Informed Decision Making for Dam Safety Management. *Reliability Engineering and System Safety*, 191. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.ress.2019.106562>.

Mote, P. W., L. Brekke, P. Duffy y E. Maurer. 2011. Guidelines for Constructing Climate Scenarios. *Eos, Transactions of the American Geophysical Union*, 92: 257-58.

Munich Re. 2017. Natural Catastrophe Review for the First Half of 2017. Munich RE NatCatService. Disponible en https://www.munichre.com/site/corporate/get/params_E-1239748787_Dattachment/1568376/MunichRe-PM-Download-NatCat-first-half-2017_en.pdf.

Multihazard Mitigation Council. 2005. Natural Hazard Mitigation Saves: An Independent Study to Assess the Future Saving from Mitigation Activities. Washington, D.C.: National Institute of Building Sciences. Disponible en: [https:// www.nibs.org/?page=mmc_projects](https://www.nibs.org/?page=mmc_projects).

Mouroux, P. y B. Le Brun. 2008. Risk-Ue Project: An Advanced Approach to Earthquake Risk Scenarios With Application to Different European Towns. En C. S. Oliveira, A. Roca, X. Goula (Eds.), *Assessing and Managing Earthquake Risk. Geotechnical, Geological And Earthquake Engineering*, vol 2. Dordrecht: Springer.

Nackicenovic, N., J. Alcamo, A. Grubler, K., Riahi, R. A. Roehrl, H. H. Rogner y N. Victor. 2000. Special Report on Emissions Scenarios (SRES), Informe especial del Grupo de Trabajo III del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Cambridge, UK: Cambridge University Press. Disponible en <http://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/6101/>.

Nackicenovic, N., S. J. Smith y S. K. Rose. 2011.

The Representative Concentration Pathways: An Overview. *Climatic Change*, 109: 5–31.

Nadim, F. y T. Glade. 2006. On Tsunami Risk Assessment for the West Coast of Thailand. Disponible en <https://dc.engconfintl.org/cgi/viewcontent.cgi?referer=&httpsredir=1&article=1000&context=geohazards>.

Natural Resources Canada. s.f. Canadian Forest Fire Danger Rating System (CFFDRS) [sitio de Internet]. Disponible en <http://cwfis.cfs.nrcan.gc.ca/background/summary/fdr>.

Newman, S. y K. Pietro. 2001. Phosphorus Storage and Release in Response to Flooding: Implications for Everglades Stormwater Treatment Areas. *Ecological Engineering*, 18: 23–38.

Newmark, N. 1965. Effects of Earthquakes on Dams and Embankments. *Geotechnique*, 15: 139–60. Disponible en <https://www.icevirtuallibrary.com/doi/10.1680/geot.1965.15.2.139>.

NGI (Norwegian Geotechnical Institute) y GA (Geoscience Australia). 2015. UNISDR Global Assessment Report 2015 – GAR 15: Tsunami Methodology and Result Overview. Documento de Antecedentes del Informe de Evaluación Global sobre Reducción del Riesgo de Desastres 2015. Disponible en [https://www.preventionweb.net/english/hyogo/gar/2015/en/bgdocs/risk-section/Norwegian%20Geotechnical%20Institute%20\(NGI\)%20and%20%20Geoscience%20Australia%20\(GA\)%20Tsunami%20Methodology%20and%20Result%20Overview.pdf](https://www.preventionweb.net/english/hyogo/gar/2015/en/bgdocs/risk-section/Norwegian%20Geotechnical%20Institute%20(NGI)%20and%20%20Geoscience%20Australia%20(GA)%20Tsunami%20Methodology%20and%20Result%20Overview.pdf)

NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). s.f. a. Herramienta de análisis de inundación. Disponible en <https://tidesandcurrents.noaa.gov/inundation/>.

_____. s.f. b. Coastal Inundation Dashboard [sitio de Internet]. Disponible en <https://tidesandcurrents.noaa.gov/inundationdb/>.

_____. s.f. c. Coastal Inundation Mapping [sitio de internet]. Disponible en <https://coast.noaa.gov/digitalcoast/training/inundationmap.html>.

_____. 2012. Mapping Coastal Inundation Primer. Disponible en <https://coast.noaa.gov/data/digitalcoast/pdf/coastal-inundation-guidebook.pdf>.

NRC (National Research Council). 2010. America's Climate Choices: Panel on Adapting to the Impacts of Climate Change. Washington, D.C.: National Academy of Sciences. www.nap.edu/catalog.php?record_id=12783.

Okal, E. A., J. C. Borrero y C. E. Synolakis. 2006. Evaluation of Tsunami Risk from Regional Earthquakes at Pisco, Peru. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 96(5): 1634–48. Disponible en <https://pubs.geoscienceworld.org/ssa/bssa/article-abstract/96/5/1634/146617/Evaluation-of-Tsunami-Risk-from-Regional?redirectedFrom=fulltext>.

Ordaz, M. 2008. Relaciones entre curvas de fragilidad, matrices de probabilidad y funciones de vulnerabilidad. Nota técnica. No publicada.

_____. 2000. Metodología para la Evaluación del Riesgo Sísmico Enfocada a la Gerencia de Seguros Por Terremoto. Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F.

Parsons, T. y E. Geist. 2009. Tsunami Probability in the Caribbean Region. *Pure and Applied Geophysics*, 165: 2089–116.

Patte, D. 2014. Climate Trends and Projections: A Guide to Information and References. Portland, OR: Servicio Federal de Pesca y Vida Silvestre de EE.UU. Región del Pacífico.

Perrette, M., F. Landerer, R. Riva, K. Frieler y M. Meinhausen. 2013. A Scaling Approach to Project Regional Sea Level Rise and its Uncertainties. *Earth System Dynamics*, 4: 11–29. 10.5194/esd-4-11-2013.

PMEL (Pacific Marine Environmental Laboratory). s.f. Deep-Ocean Assessment and Reporting of Tsunamis, DART. Disponible en <https://nctr.pmel.noaa.gov/Dart/>.

Prudhomme, C., I. Giuntoli, E. L. Robinson, D. B. Clark, N. W. Arnell, R. Dankers, B. M. Fekete, W. Franssen, D. Gerten, S. N. Gosling, S. Hagemann, D. M. Hannah, H. Kim, Y. Masakik, Y. Satoh, T. Stackei, Y. Wada y D. Wisser. 2014. Hydrological Droughts in the 21st Century, Hotspots and Uncertainties from a Global Multimodel Ensemble Experiment. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111: 3262–67. Disponible en <https://www.pnas.org/content/111/9/3262>.

- Racsko, P., L. Szeidl y M. A. Semenov. 1991. A Serial Approach to Local Stochastic Weather Models. *Ecological Modelling*, 57: 27-41.
- Raes, D., P. Steduto, T. C. Hsiao y E. Fereres. 2011. FAO Cropwater Productivity Model to Simulate Yield Response to Water, AquaCrop. En *Reference Manual of AQUACROP* (p. 56). Disponible en <http://www.fao.org/nr/water/docs/aquacropv31pluschapter1.pdf>.
- Rajagopalan, B. y U. Lall. 1999. A K-nearest-neighbor Simulator for Daily Precipitation and Other Weather Variables. *Water Resources Research*, 35(10): 3089-101. Disponible en <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/1999WR900028>.
- Rasmussen, R., K. Ikeda, C. Liu, D. Gochis, M. Clark, A. Dai, E. Gutmann, J. Dudhia, F. Chen, M. Barlage, D. Yates y G. Zhang. 2014. Climate Change Impacts on the Water Balance of the Colorado Headwaters: High-Resolution Regional Climate Model Simulations. *Journal of Hydrometeorology*, 15 (3): 1091-116. Disponible en <https://journals.ametsoc.org/doi/full/10.1175/JHM-D-13-0118.1>.
- Reyer, C., K. K. Rigaud, E. Fernandes, W. Hare, O. Serdeczny y H. J. Schellnhuber. 2017. Turn Down the Heat: Regional Climate Change Impacts on Development. *Regional Environmental Change*, 17: 1563-68.
- Rheinberger C.M., H. E. Roman y M. Bründl, 2013. Proportional Loss Functions for Debris Flow Events Nat. *Hazards and Earth Systems Science*, 13: 2147-56.
- Richardson, C. W. 1981. Stochastic simulation of daily precipitation, temperature and solar radiation. *Water Resources Research*, 17: 182-90.
- Richardson, C. W. y D. A. Wright. 1984. WGEN: A Model for Generating Daily Weather Variables. Washington, D.C.: Departamento de Agricultura de EE.UU., Servicio de Investigación Agraria. Disponible en https://support.goldsim.com/hc/en-us/article_attachments/115026531468/WGEN.pdf
- Rikitake, T. y Aida, I. 1988. Tsunami hazard probability in Japan. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 78: 1268-78.
- Rothermel, R. C. 1972. A mathematical model for fire spread predictions in wildland fires. Research Paper INT-115. Ogden, UT: Departamento de Agricultura de EE.UU., Servicio Forestal, Intermountain Forest and Range Experiment Station.
- Rothermel, R.C. 1991. Predicting behavior and size of crown fires in the northern Rocky Mountains. Servicio Forestal de USDA, Intermountain Research Station, Documento de investigación INT-438, 46 pp.
- Satake, K. y B. Atwater. 2007, Long-Term Perspectives on Giant Earthquakes and Tsunamis at Subduction Zones (PDF), *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, Annual Reviews, 35(1): 351. DOI:10.1146/annurev.earth.35.031306.140302
- Semenov, M. A., R. J. Brooks, E. M. Barrow y C. W. Richardson. 1998. Comparison of WGEN and LARS-WG Stochastic Weather Generators for Diverse Climates. *Climate Research* 10: 95-107.
- Scott, J. H. y E. D. Reinhardt. 2001. Assessing Crown Fire Potential by Linking Models of Surface and Crown Fire Behavior. Documento de investigación RMRS-RP-29. Fort Collins, CO: Servicio Forestal de USDA, Rocky Mountain Research Station.
- Schewe, J., J. Heinke, D. Gerten, I. Haddeland, N. W. Arnell, D. B. Clark, R. Dankers, S. Eisner, B. M. Fekete, F. J. Colón-González, S. N. Goslin, H. Kim, X. Liu, Y. Masaki, F. T. Portmann, Y. Satoh, T. Stacke, Q. Tang, Y. Wada, D. Wisser, T. Albrecht, K. Frieler, F. Piontek, L. Warszawski y P. Kabat. 2014. Multimodel Assessment of Water Scarcity Under Climate Change. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111(9): 3245-50. Disponible en <https://www.pnas.org/content/111/9/3245>.
- Sharif, M. y D. H. Burn. 2016. Simulating Climate Change Scenarios using an Improved K-nearest-neighbor Model. *Journal of Hydrology*, 325: 179-96. Disponible en <https://www.eng.uwo.ca/research/iclr/fids/publications/cfcas-climate/papers/weather-gen.pdf>
- Sillmann, J., V. V. Kharin, F. W. Zwiers, X. Zhang y D. Bronaugh. 2013a. Climate Extremes Indices in the CMIP5 Multi-Model Ensemble. Part 1: Model Evaluation in the Present Climate. *Journal of Geophysics Research*, 118(4): 1716-733. doi:10.1002/jgrd.50203.
- Sillmann, J., V. V. Kharin, F. W. Zwiers, X. Zhang y D. Bronaugh. 2013b. Climate Extremes Indices in the CMIP5 Multi- Model Ensemble. Part 2: Future Projections. *Journal of Geophysics Research*, 118(6): 2473-93. doi:10.1002/jgrd.50188.

Simonovic, S. P. y A. Peck. 2009. Updated Rainfall Intensity Duration Frequency Curves for the City of London Under the Changing Climate. Informe número 065. Disponible en <https://ir.lib.uwo.ca/wrrr/29/>.

Snover, A. K., N. J. Mantua, J. S. Little, M. A. Alexander, M. M. McClure y J. Nye. 2013. Choosing and Using Climate-Change Scenarios for Ecological-Impact Assessment and Conservation Decisions. *Conservation Biology*, 27(6): 1147-57.

Sørensen M. B., M. Spada, A. Babeyko, S. Wiemer y G. Grünthal. 2012. Probabilistic tsunami hazard in the Mediterranean Sea. *Journal of Geophysics Research*, 117. doi:10.1029/2010JB008169.

SPANCOLD (Comité Nacional Español de Grandes Presas). 2012. Análisis de riesgos aplicado a la gestión de seguridad de presas y embalses. Madrid, España: SPANCOLD. Disponible en <https://www.spancold.org/producto/guia-tecnica-de-seguridad-de-presas-no-8-explotacion-de-presas-y-embalses-tomo-1-analisis-de-riesgos-aplicado-a-la-gestion-de-seguridad-de-presas-y-embalses/>.

Steduto, P., T. Hsiao, E. Fereres y D. Raes. 2012. Crop Yield Response to Water. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 66. Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

Suppasri, A., E. Mas, I. Charvet, R. Gunasekera, K. Imai, Y. Fukutani, Y. Abe y F. Imamura. 2013. Building Damage Characteristics Based on Surveyed Data and Fragility Curves of the 2011 Great East Japan Tsunami. *Natural Hazards*, 66: 319-41. DOI 10.1007/s11069-012-0487-8

Tarbotton, C., F. Dall'osso, D. Dominey-Howes y J. Goff. The Use of Empirical Vulnerability Functions to Assess the Response of Buildings to Tsunami Impact: Comparative Review and Summary of Best Practice. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/271274011_The_use_of_empirical_vulnerability_functions_to_assess_the_response_of_buildings_to_tsunami_impact_Comparative_review_and_summary_of_best_practice.

Taylor, K., R. J. Stouffer y G. A. Meehl. 2012. An Overview of CMIP5 and the Experiment Design. *Bulletin of the American Meteorological Society*,

93(4): 485-98. Disponible en <https://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/BAMS-D-11-00094.1>.

Temmerman, S., P. Meire, T. Bouma, P. Herman, T. Ysebaert y H. de Vriend. 2013. Ecosystem-based coastal defence in the face of global change. *Nature* (504): 79-83. DOI: 10.1038/nature12859.

Tetra Tech. 2016. Disaster and Climate Change Risk Assessment for the Caracol Industrial Park, Haiti. 7 de julio de 2016. Elaborado para el Banco Interamericano de Desarrollo, Unidad de Salvaguardias Ambientales, por Tetra Tech, Inc.

Thio, H. K., P. Sommerville y J. Polet. 2010. Probabilistic Tsunami Hazard in California. Peer Report 2010/108. Pacific Earthquake Engineering Research Center.

Tinti, S. y A. Armigliato. 2003. The Use of Scenarios to Evaluate the Tsunami Impact in Southern Italy. *Marine Geology*, 199(3-4): 221-43. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0025322703001920>.

Todinov, M. 2008. Risk-based Design Based on Limiting the Probability of System Failure at a Minimum Total Cost. *Risk Management*, 10: 104-21.

Tolderlund, L. 2010. Design Guidelines and Maintenance Manual for Green Roofs in the Semi-Arid and Arid West, USA. <http://www2.epa.gov/sites/production/files/documents/GreenRoofsSemiAridAridWest.pdf>.

UNDRR (Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres). 2011. Revealing Risk, Redefining Development, GAR 2011, Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction. Ginebra, Suiza: UNDRR. Disponible en: <http://www.unisdr.org/we/inform/publications/19846>.

_____. 2015. Deterministic and Probabilistic Risk [página de Internet]. Ginebra, Suiza: UNDRR. Disponible en: <https://www.preventionweb.net/risk/deterministic-probabilistic-risk>.

_____. 2017. Report of the Open-Ended Intergovernmental Expert Working Group on Indicators and Terminology Relating to Disaster Risk Reduction. Ginebra, Suiza: UNDRR. Disponible en: <https://www.preventionweb.net/files/50683>.

[oiewgreportenglish.pdf](#).

UNISDR (Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de las Naciones Unidas). s.f. Plataforma de datos sobre riesgo global. Storm Surge Hazard 250 years [Shapefile geospatial data storm_surge_hazard_shapefile]. Hurricane Storm Surge Hazard. Creado por el BID mediante el procesamiento del conjunto de datos original. Ginebra, Suiza: UNISDR. Disponible en: <https://preview.grid.unep.ch/index.php?preview=data&events=gar2015&ev-cat=37&metaid=179&lang=eng>

USACE (Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los EE.UU.). 2014. Safety of Dams: Policy and Procedures. ER-1110-2-115., Washington, D.C.: USACE. Disponible en: https://www.publications.usace.army.mil/Portals/76/Publications/EngineerRegulations/ER_1110-2-1156.pdf.

USBR (United States Bureau of Reclamation). 2011. Dam Safety Public Protection Guidelines, A Risk Framework to Support Dam Safety Decision-making. Departamento del Interior de EE.UU., Oficina de Recuperación de Tierras, Oficina de Seguridad de Represas, Denver, CO. Disponible en <https://www.usbr.gov/ssle/damsafety/references.html>.

Vamvatsikos, D. y C. A. Cornell. 2002. Incremental dynamic analysis. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 31(3): 491-514.

Van Westen, C. J. s.f. Methodology Book: 5.5. Methods for Risk Assessment. Disponible en <http://www.charim.net/methodology/55>.

Van Wagner, C. E. 1977. Conditions for the Start and Spread of Crown Fire. *Canadian Journal of Forest Research*, 7(1): 23-34.

_____. 1993. Prediction of Crown Fire Behavior in Two Stands of Jack Pine. *Canadian Journal of Forest Research*, 23: 442-49.

Varnes, D. y IAEG. 1984. Landslide Hazard Zonation: A Review of Principles and Practice. París, Francia: Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Tecnología.

Venturato, A.J., D. Arcas, V. V. Titov, H. O. Mofjeld, C. C. Chamberlin y F. I. González. 2007. Tacoma, Washington, Tsunami Hazard Mapping Project: Modeling Tsunami Inundation from Tacoma and Seattle Fault Earthquakes. Memorando técnico NOAA OAR PMEL-132. Disponible en <https://www.pmel.noaa.gov/pubs/PDF/vent2981/vent2981.pdf>.

Vigh, J. L. 2018. Tropical Cyclone Hazard Assessment: Past, Present, Future. Presentación en la Universidad Nacional Autónoma de México, Laboratorio de Ingeniería y Procesos Costeros, 11 de junio de 2018. Disponible en https://ral.ucar.edu/staff/jvigh/documents/20180611_vigh_UNAM-LIPC_tropical_cyclone_hazard_assessment_past_present_future_seminar.pdf.

Wang, X., B. M. Wotton, A. S. Cantin, M. A. Parisien, K. Anderson, B. Moore y M. Flannigan. 2017. CFFDRS: An R package for the Canadian Forest Fire Danger Rating System. *Ecological Processes*, 6 (5). Disponible en <https://ecologicalprocesses.springeropen.com/articles/10.1186/s13717-017-0070-z>.

Wayan, I. 2012. Proceedings from the 15th World Conference in Earthquake Engineering: Investigation on Risk-Targeted Seismic Design Criteria for a High-Rise Building in Jakarta, Indonesia. Lisboa, Portugal.

Wilby, R. L., O. J. Tomlinson y C. W. Dawson. 2003. Multi-site Simulation of Precipitation by Conditional Resampling. *Climate Research*, 23: 183-94.

Wilby, R. L. y C. W. Dawson. 2013. The Statistical DownScaling Model (SDSM): Insights From One Decade of Application. *International Journal of Climatology*, 33: 1707-19.

World Resources Institute. 2018. Towards Paris Alignment. How the Multilateral Development Banks Can Better Support the Paris Agreement. Disponible en <https://www.wri.org/publication/toward-paris-alignment>.

Yates, D., S. Gangopadhyay, B. Rajagopalan y K. Strzepek. 2003. A Technique for Generating Regional Climate Scenarios Using a Nearest-Neighbor Algorithm. *Water Resources*

Research, 39(7): SWC 7-1–SWC 7-14. Disponible en <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2002WR001769>

Zuloaga, D. 2014. Structural Seismic Performance Evaluation with Consideration of Economic Vulnerability (disertación de Maestría en Ciencias). Illinois Institute of Technology, Chicago, IL. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/314178249_STRUCTURAL_SEISMIC_PERFORMANCE_EVALUATION_WITH_CONSIDERATION_OF_ECONOMIC_VULNERABILITY.

Apéndice A: Acrónimos y abreviaturas

AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
ACB	Análisis de costo-beneficio
AEC	Análisis de eficacia de costos
ALC	América Latina y el Caribe
AMC	Análisis multicriterio
ANN	Sigla en inglés de Redes Neurales Artificiales
AP	Análisis probabilista
ASCE	American Society of Civil Engineers
B	Parámetro de perfil de presión Holland (modelo de simulación de trayectoria de huracanes)
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
C	Velocidad de transporte (modelo de simulación de trayectoria de huracanes)
CAPRA	Central America Probabilistic Risk Assessment (plataforma de evaluación de riesgo probabilista)
cm	Centímetro
DEM	Sigla en inglés de Modelo de Elevación Digital
DEM	Sigla en inglés de Matriz de Eficacia del Desarrollo
DLP	Sigla en inglés de Proyecto de Propuesta de Préstamo
dmin	Distancia de máxima aproximación
Dp	Diferencia de presión (modelo de simulación de trayectoria de huracanes)
EA	Evaluación ambiental
EAS	Evaluación ambiental estratégica
EIA	Evaluación de impacto ambiental
ESG	Unidad de Salvaguardias Ambientales
FEMA	Federal Emergency Management Agency (agencia federal de gestión de emergencias de EE.UU.)
FHWA	Federal Highway Administration (administración federal de autopistas de EE.UU.)
ha.	Hectárea
Hazmat	Material peligroso
hr.	hora
I&C	Instrumentación y controles
IBC	Sigla en inglés de Código de Construcción Internacional
IFC	International Finance Corporation.
IV	Infraestructura verde
km	Kilómetro
L	Instrumentos de política (Proceso de toma de decisiones robustas)
L	Litro
LID	Sigla en inglés de desarrollo con bajo impacto
LWTB	Living With The Bay

M	Medidas de desempeño (Proceso de toma de decisiones robustas)
m	Metro
M&E	Monitoreo y evaluación
m²	Metros cuadrados
MCG	Modelo de Circulación General o Modelo Climático Global
mg	Miligramo
MJP	Mejor juicio profesional
mm	Milímetro
MPG	Mejor práctica de gestión
OMS	Organización Mundial de la Salud
PDSI	Sigla en inglés de Índice de severidad sequía de Palmer
PE	Probabilidad de excedencia
PGA	Sigla en inglés de aceleración máxima del suelo
PGAS	Plan de Gestión Ambiental y Social
PGRD	Plan de Gestión del Riesgo de Desastres
PGV	Sigla en inglés de velocidad máxima del suelo
POD	Sigla en inglés de Propuesta de Desarrollo de Operaciones
PAE	Pérdida anual esperada
PRIM	Sigla en inglés de Método inductivo de reglas sobre pacientes
Q	Dirección (modelo de simulación de trayectoria de huracanes)
Qcr	Sigla en inglés de Modelo de umbral crítico de lluvias (modelo de deslizamiento de tierra)
R	Relaciones del modelo del sistema (proceso de toma de decisiones robustas)
r	Tasa de descuento (ecuación del análisis de costo beneficio)
RAA	Recarga de acuíferos artificiales
RCB	Relación costo-beneficio
RDM	Sigla en inglés de Toma de Decisiones Robustas
Rmax	Radio a vientos máximos (modelo de simulación de trayectoria de huracanes)
RR. HH.	Recursos humanos
S	Suma futura (ecuación del análisis de costo beneficio)
SIG	Sistema de información geográfica
SPEI	Sigla en inglés de Índice de precipitación-evapotranspiración estandarizado
SPI	Sigla en inglés de Índice de precipitación estándar
STAPLEE	Sigla en inglés de Criterios sociales, técnicos, administrativos, políticos, legales, económicos y ambientales
t	Año del periodo de análisis (ecuación del análisis de costo beneficio)
TDR	Términos de Referencia
TRE	Tasa de retorno económico
TSS	Total de sólidos suspendidos
USGS	United States Geological Survey
VP	Valor Presente
X	Factores de incertidumbre (Proceso de toma de decisiones robustas)

Appendix B: Definitions

La Metodología toma conceptos clave de las comunidades de práctica de cambio climático y de reducción de riesgo de desastres. Debido a que cada comunidad ha desarrollado distintas definiciones relacionadas con la evaluación y gestión de riesgos, es prudente definir conceptos clave y especificar la terminología que se utiliza en la guía.

Capacidad de adaptación: Capacidad de un sistema para ajustarse al cambio climático (incluida la variabilidad y los extremos climáticos) para moderar potenciales daños, aprovechar oportunidades o hacer frente a las consecuencias (NRC, 2010).

Variabilidad climática: Variaciones del estado medio y otras estadísticas (desviación típica, eventos extremos, etc.) del clima en todas las escalas espaciales y temporales, que son más amplias que las de los fenómenos meteorológicos individuales (IPCC, 2007).

Cambio climático: La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), en su artículo 1, define el cambio climático como: “cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables”. La CMNUCC diferencia, pues, entre el cambio climático atribuible a las actividades humanas que alteran la composición atmosférica y la variabilidad climática atribuible a causas naturales.

Gestión del riesgo de cambio climático se utiliza en este documento de forma indistinta con adaptación, y significa: Proceso de ajuste al clima real o esperado y a sus efectos. En los sistemas humanos, la adaptación busca moderar el daño o explotar las oportunidades beneficiosas. En los sistemas naturales, la intervención humana puede facilitar el ajuste al clima esperado y sus efectos (IPCC, 2014).

Desastre: Ocurrencia de un evento extremo debido a una amenaza que impacta a las comunidades vulnerables y causa daño sustancial, trastornos y posibles muertes, y deja a las comunidades afectadas imposibilitadas de funcionar con normalidad sin asistencia externa (Benson y Twigg, 2007).

Preparación en caso de desastre: Actividades y medidas tomadas con anticipación para asegurar una respuesta eficaz al impacto de las amenazas, incluida la emisión oportuna y eficaz de alertas tempranas, la evacuación temporal de personas y bienes desde lugares bajo amenaza y la planificación de contingencias (BID, 2008).

Gestión del riesgo de desastres: Proceso sistemático que integra la identificación, prevención, mitigación y transferencia de riesgo, como así también la preparación en caso de desastre, la respuesta de emergencia y la rehabilitación/reconstrucción para atenuar los impactos de las amenazas (BID, 2008).

Reducción del riesgo de desastres: Desarrollo y aplicación sistemática de políticas, estrategias y prácticas para minimizar vulnerabilidades, amenazas y el desarrollo de impactos de desastres en toda la sociedad, en el amplio contexto del desarrollo sostenible (ONU, 2004 en BID, 2008).

Exposición: La presencia de personas, medios de vida, servicios y recursos ambientales, infraestructura o activos económicos, sociales o culturales en lugares que podrían verse perjudicados por los efectos del cambio climático (IPCC, 2012).

Protección financiera: Actividades ex-ante para preparar mecanismos o instrumentos financieros para la retención y transferencia de riesgo a fin de tener acceso ex-post a recursos económicos oportunos, lo cual mejora la capacidad de respuesta en caso de desastre.

Amenaza: La potencial ocurrencia de un fenómeno físico o una tendencia o un impacto físico, natural o inducido por el ser humano, que puede causar pérdida de vidas, lesiones u otros impactos en la salud, como así también da-

ños y pérdidas que afecten bienes, infraestructura, medios de vida, la provisión de servicios, ecosistemas y recursos ambientales (IPCC, 2014). Esta definición reconoce que las amenazas existen en condiciones actuales y pueden verse exacerbadas por las condiciones climáticas futuras.

Mitigación de amenazas: Aquí se la define como la reducción del riesgo existente mediante medidas estructurales y no estructurales tomadas para limitar el impacto adverso de las amenazas naturales, la degradación ambiental y las amenazas tecnológicas. La palabra “amenazas” se incluye para establecer una diferencia con respecto a la mitigación definida en el contexto del cambio climático como “intervención humana para reducir las fuentes o aumentar los sumideros de gases de efecto invernadero” (IPCC, 2014).

Resiliencia: La capacidad de un sistema (por ejemplo, una comunidad) de anticiparse, prepararse, responder y recuperarse de múltiples amenazas significativas con un daño mínimo al bienestar social, a la economía y al medio ambiente (NRC, 2010). Este concepto reconoce que la adaptación al cambio climático y la reducción del riesgo de desastres se complementan.

Rehabilitación: Reparaciones provisionarias de infraestructura dañada, servicios sociales o capacidad productiva para facilitar la normalización de las actividades económicas (BID, 2008).

Reconstrucción: Construcción de nuevas instalaciones para reemplazar aquellas que fueron destruidas o dañadas sin posibilidad de reparación por un desastre, y llevarlas a niveles que eviten el reestablecimiento o aumento de la vulnerabilidad.

Riesgo: Combinación de la magnitud de las posibles consecuencias de una amenaza y de la probabilidad de que las consecuencias ocurran (NRC, 2010).

Reducción de riesgo: Es el desarrollo y la aplicación de forma sistemática de políticas, estrategias y prácticas para minimizar vulnerabilidades, amenazas y el desarrollo de impactos de desastres en toda la sociedad, en el amplio contexto del desarrollo sostenible. Incluye la mitigación y la prevención. Mitigación (reducir el riesgo existente): Medidas estructurales y no estructurales tomadas para limitar el impacto adverso de las amenazas naturales, la degradación ambiental y las amenazas tecnológicas. Prevención (prevenir nuevas condiciones de riesgo): Actividades para evitar el impacto adverso de las amenazas y un medio para minimizar los impactos de los desastres relacionados.

Transferencia de riesgo: Proceso formal o informal para trasladar las consecuencias financieras de ciertos riesgos de un sujeto a otro. Los seguros son una forma muy conocida de transferir riesgo; se contrata una cobertura de riesgo a un asegurador, quien a cambio obtiene el pago de primas periódicas.

Sensibilidad: Grado en que un sistema o una especie se ve afectada, ya sea negativa o positivamente, por la variabilidad o el cambio climático. El efecto puede ser directo (por ejemplo, un cambio en el rendimiento de un cultivo en respuesta a un cambio en la temperatura media, en el rango de temperaturas o en la variabilidad térmica) o bien indirecto (por ejemplo, daños causados por un aumento en la frecuencia de inundaciones costeras debido al aumento del nivel del mar).

Amenaza de evolución lenta versus de evolución rápida: Las amenazas de evolución lenta son aquellas que ocurren durante meses o años (como el aumento del nivel del mar o la sequía) y las amenazas de evolución rápida ocurren durante periodos de tiempo más cortos, como es el caso de los huracanes, las inundaciones o las mareas de tormenta.

Vulnerabilidad: Grado en que un sistema es susceptible o incapaz de hacerles frente a los efectos adversos del cambio climático, incluida la variabilidad y los extremos climáticos. La vulnerabilidad es una función del carácter, de la magnitud y del grado de variación del clima a la que está expuesta un sistema, su sensibilidad y su capacidad de adaptación (NRC, 2010).

Tiempo meteorológico: Las condiciones atmosféricas en un lugar determinado en términos de la temperatura del aire, la presión, la humedad, la velocidad del viento y las lluvias. El tiempo meteorológico es lo que está sucediendo en este momento o es probable que suceda en el futuro muy próximo.

Apéndice C: Mapas de amenazas para screening

Capas de amenazas

Mapa AC.1: Amenaza por sequía



Esta capa muestra la amenaza por sequía. El modelo detrás de este mapa no considera las variaciones a causa del cambio climático (es decir, asume que no habrá un cambio significativo, con el transcurso del tiempo, en el modo en que la amenaza se ha presentado históricamente).

Esta capa muestra el mapa de la amenaza por sequía (el índice en este mapa es la cantidad de años, dentro de una ventana de 20 años desde 1980 a 2001, en que ocurrió al menos un fenómeno de sequía). Se considera que las zonas que presentan 1 año con fenómenos de sequía o menos tienen un nivel de amenaza “Bajo”, las que presentan 2 o 3 años con fenómenos de sequía, “Moderado”, y las que presentan más de 3 años con fenómenos de sequía, “Alto”.

Esta capa fue creada a partir de un conjunto de datos poligonales (obtenido de datos globales almacenados en malla con una resolución de 55 km) que permite a los usuarios identificar las zonas que pueden estar suje-

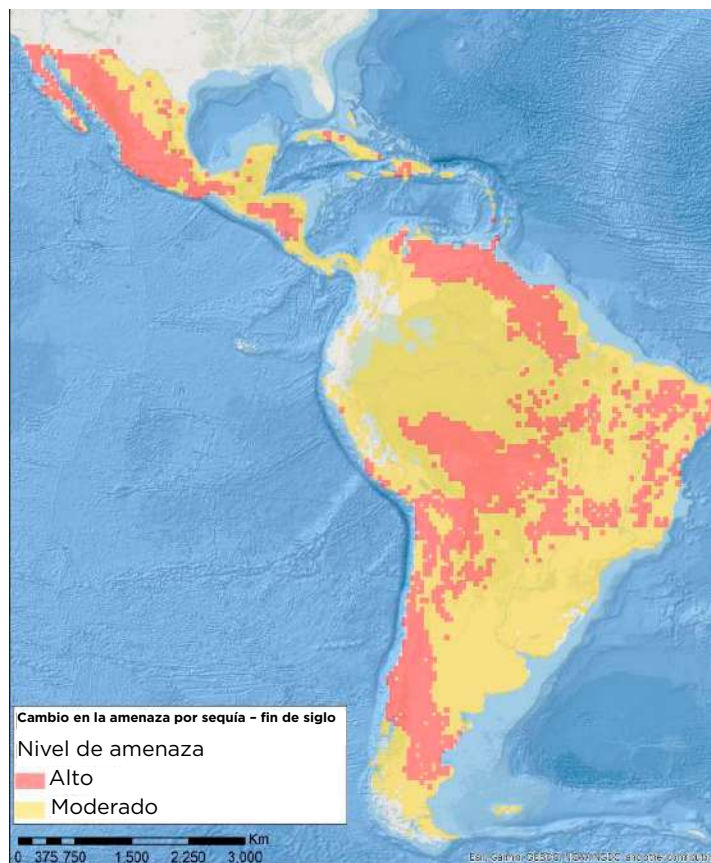
tas a sequías con base en datos históricos (1980-2001). Se basa en dos fuentes: (i) un conjunto de datos sobre precipitaciones mensuales globales almacenados en malla obtenido de la Unidad de Investigaciones Climáticas (University of East Anglia) y (ii) un modelado de SIG del Índice de Precipitaciones Globales estandarizado basado en la metodología de Brad Lyon (IRI, Universidad de Columbia). Los fenómenos de sequía se definen como una zona donde las precipitaciones mensuales son inferiores al 50% del valor medio calculado para el periodo 1961-1990 durante al menos tres meses consecutivos. Este producto fue diseñado por PNUMA/GRID-Europa para el Proyecto de Evaluación de Riesgo, Vulnerabilidad, Información y Alerta Temprana (PreView).

Esta capa debe leerse junto con la capa de amenaza por sequía futura que considera el cambio climático para evaluar, en primer lugar, los niveles de la amenaza sin el cambio climático y, en segundo lugar, cuál es la magnitud del cambio esperado (en este caso, aumento) en la amenaza por sequía para fin de siglo una vez incorporado el cambio climático.

Fuente de información: UNEP (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente) y UNISDR (Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres). (2015). Global Risk Data Platform. Drought - Events [Shapefile geospatial data dr_events_shapefile]. Drought Hazard. Creado por el Banco Interamericano de Desarrollo mediante el procesamiento del conjunto de datos original. Descargado de <https://preview.grid.unep.ch/index.php?preview=data&events=droughts&evcat=1&lang=eng>

Limitaciones: Los datos utilizados para crear esta métrica son históricos y, por naturaleza, no son predictivos acerca de dónde se experimentarán o presentarán las amenazas en el futuro. Además, la escala de los datos brindados por PNUMA puede no capturar las condiciones locales de los futuros fenómenos de sequía y es por ello que los datos no deben utilizarse para representar zonas afectadas por fenómenos futuros. Los datos se ofrecen con el objetivo de proporcionar tendencias generales sobre la probabilidad de ocurrencia de esta amenaza, únicamente para orientar consideraciones más localizadas relacionadas con procesos de toma de decisiones.

Mapa AC.2: Amenaza por sequía - Fin de siglo (con cambio climático)



Esta capa muestra el cambio en la amenaza por sequía para fin de siglo. El modelo detrás de este mapa considera variaciones a causa del cambio climático.

Esta capa muestra el cambio en la amenaza por sequía para fin de siglo, considerando el cambio climático (porcentaje de cambio en la ocurrencia de días con sequía para el periodo 2070-2099 con respecto a 1976-2005). Los cambios porcentuales entre -100% y +25% se consideran amenaza de nivel "Bajo", los cambios porcentuales entre +25% y +50% se consideran amenaza de nivel "Moderado" y los cambios porcentuales superiores a +50% se consideran amenaza de nivel "Alto".

Esta capa fue creada mediante la estimación del cambio futuro (positivo, negativo o sin cambio) en la amenaza por sequía utilizando la metodología descrita por Prudhomme y otros (2014). Se utilizaron datos sobre escorrentías diarias tomados de 68 modelos de impacto globales (MIG) y 5 modelos climáticos globales (MCG) del archivo de datos Fast Track del Inter-Sectoral Impact Model Intercomparison Project

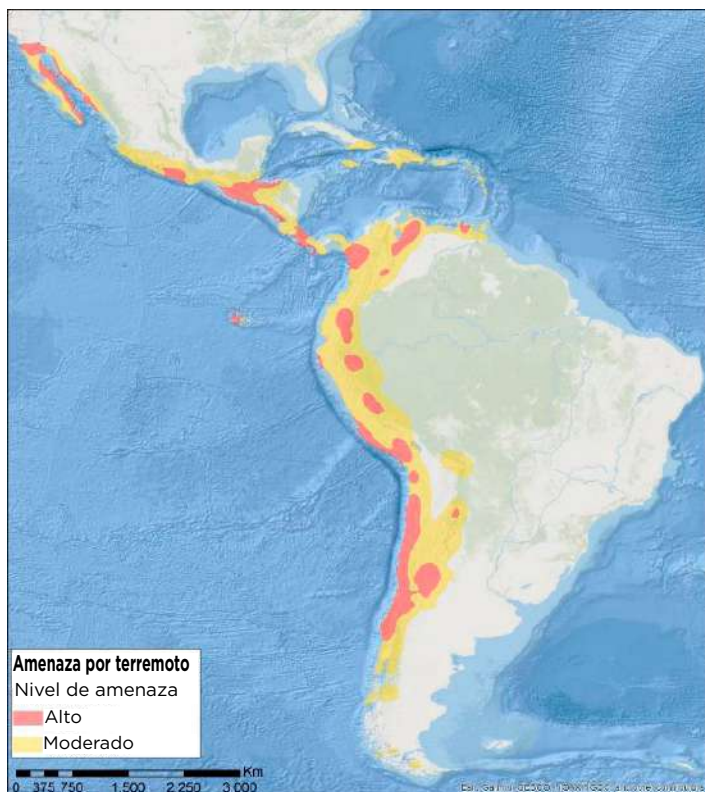
(ISIMIP) para estimar la ocurrencia de futuras sequías mediante una comparación de las escorrentías correspondientes al periodo futuro (2070 a 2099) y las correspondientes al periodo histórico (1976 a 2005). A cada celda de la malla se le asignó un índice de sequía de 1 si la escorrentía en un día determinado era inferior al umbral diario (10° percentil - Q90 - de flujos en una ventana móvil de 30 días), de lo contrario se le asignó 0. Para cada celda de la malla se calculó una medida de la frecuencia de sequía como la fracción de días con sequía.

Esta capa debe leerse junto con la capa de amenaza por sequía estacionaria (que no considera el cambio climático) para evaluar, en primer lugar, los niveles de la amenaza sin el cambio climático y, en segundo lugar, cuál es la magnitud del cambio esperado (en este caso, aumento) en la amenaza por sequía para fin de siglo una vez incorporado el cambio climático.

Fuente de información: ISIMIP (Inter-Sectoral Impact Model Intercomparison Project). (2017). Archivo de datos Fast Track. Drought Hazard - Change for the End of the Century (with Climate Change). Creado por el Banco Interamericano de Desarrollo mediante el procesamiento del conjunto de datos original. Descargado de <https://esg.pik-potsdam.de/search/isimip-ft/>

Limitaciones: Los datos utilizados para crear esta métrica proceden de modelos y datos pronosticados y pueden no ser predictivos acerca de dónde se experimentarán o presentarán las amenazas en el futuro. Además, la escala de los datos brindados por ISIMIP (resolución aprox. de 55 km) puede no capturar las condiciones locales de los futuros impactos por sequía y es por ello que los datos no deben utilizarse para representar zonas afectadas por fenómenos futuros. Los datos se ofrecen con el objetivo de proporcionar tendencias generales sobre la probabilidad de ocurrencia de esta amenaza, únicamente para orientar consideraciones más localizadas relacionadas con procesos de toma de decisiones.

Mapa AC.3: Amenaza por terremoto



Esta capa muestra el mapa de la amenaza integrado probabilísticamente correspondiente a la aceleración máxima del suelo (PGA, por sus siglas en inglés, en cm/s^2 o gal) a nivel de la roca, es decir, sin considerar el efecto de los suelos locales, para un periodo de retorno de 475 años. Los valores de PGA inferiores a 90 cm/s^2 se consideran amenaza de nivel “Bajo”, los valores de PGA entre 90 cm/s^2 y 177 cm/s^2 (inclusive) se consideran amenaza de nivel “Moderado” y los valores de PGA superiores a 177 cm/s^2 se consideran amenaza de nivel “Alto”.

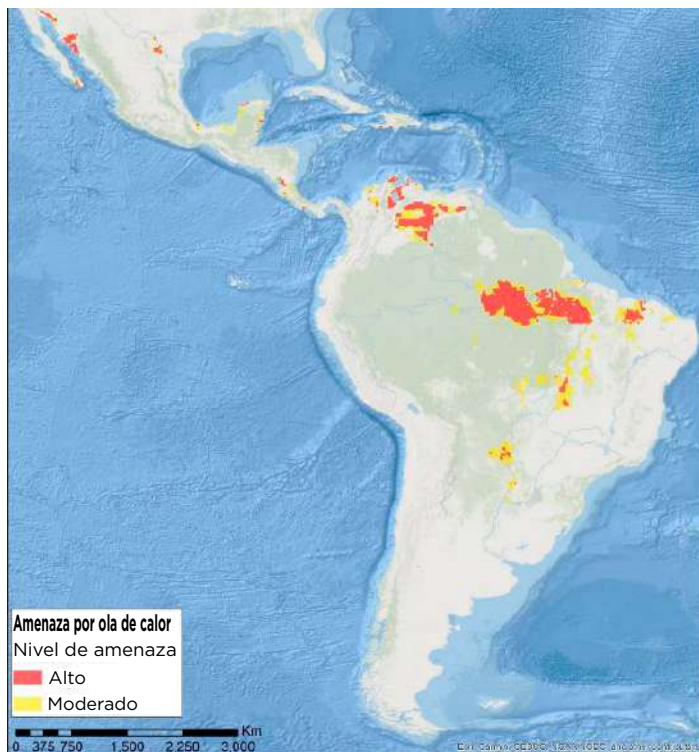
Esta capa se creó con base en un conjunto de datos globales almacenados en malla con una resolución de 8 km que permite al usuario identificar zonas que pueden estar sujetas a movimientos del suelo. Los datos corresponden a resultados del modelo de amenaza sísmica probabilista desarrollado para la evaluación de riesgo global del Global Assessment Report on Risk Reduction 2015 (GAR 15) de UNISDR. Este modelo de amenaza recurre a datos históricos y modelado predictivo para obtener un conjunto de eventos simulados estocásticamente que representa un conjunto exhaustivo de todos los eventos que podrían ocurrir en algún momento; este conjunto no solo representa los comportamientos pasados, sino que incluye además eventos extremos que no necesariamente

te han ocurrido y que aún pueden ocurrir. El modelo de amenaza sísmica totalmente probabilista (desarrollado por CIMNE e INGENIAR Ltda.) utiliza un conjunto de provincias tectónicas identificadas y caracterizadas mediante una serie de parámetros que describen su actividad sísmica futura con base en registros históricos, junto con relaciones para obtener intensidades como una función de la magnitud y la distancia. El análisis de la amenaza se realizó utilizando el programa CRISIS2014, una herramienta de última generación para este tipo de tareas y ampliamente conocida y reconocida por expertos en la materia en todo el mundo; para conocer más detalles sobre el análisis probabilista de la amenaza sísmica consulta Cardona y otros (2015).

Fuente de información: UNISDR (Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de las Naciones Unidas). (s.f.). GAR Atlas: Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction - Risk Data Platform. Peak Ground Acceleration PGA 475 years [raster geospatial data Seismic_hazard_PGA_RT475years_g1537]. Earthquake Hazard. Creado por el Banco Interamericano de Desarrollo mediante el procesamiento del conjunto de datos original. Descargado de <https://risk.preventionweb.net/capraviewer/download.jsp?tab=9&mapcenter=0,1123252.6982849&mapzoom=2>

Limitaciones: Si bien estos datos no son únicamente históricos ya que incluyen modelado predictivo, no se los debe considerar predictivos acerca de dónde se experimentarán o presentarán amenazas en el futuro. Además, en algunos lugares el movimiento del suelo depende en gran medida de las condiciones específicas del suelo que pueden amplificar el movimiento de forma significativa comparado con el movimiento del suelo a nivel de la roca; debido a que esta capa presenta el PGA a nivel de la roca, los valores de aceleración que ofrece deben tomarse con precaución y también se debe consultar estudios locales de microzonificación para determinar si podrían ocurrir amplificaciones. Además, la escala de los datos brindados por PNUMA puede no capturar las condiciones locales de los futuros fenómenos de terremoto y es por ello que los datos no deben utilizarse para representar zonas afectadas por fenómenos futuros. Los datos se ofrecen con el objetivo de proporcionar tendencias generales sobre esta amenaza, únicamente para orientar consideraciones más localizadas relacionadas con procesos de toma de decisiones.

Mapa AC.4: Amenaza por ola de calor



Esta capa muestra la amenaza por ola de calor. El modelo detrás de este mapa no considera las variaciones a causa del cambio climático (es decir, asume que no habrá un cambio significativo, con el transcurso del tiempo, en el modo en que la amenaza se ha presentado históricamente).

Esta capa muestra el mapa de la amenaza por ola de calor (el índice de este mapa es el promedio del total de días-grado, o DD por sus siglas en inglés, de ola de calor por año). Los valores de DD inferiores a 79 se consideran amenaza de nivel “Bajo”, los valores de DD entre 80 y 165 se consideran amenaza de nivel “Moderado” y los valores de DD superiores a 165 se consideran amenaza de nivel “Alto”.

Esta capa fue creada a partir de conjuntos de datos de temperatura de tres Modelos Climáticos Globales que permiten a los usuarios identificar zonas que pueden estar sujetas a olas de calor con base en periodos históricos (1976-2005) utilizando métodos detallados por Meehl y Tebaldi (2004). Se seleccionaron datos de modelos de temperatura obtenidos mediante hindcast procedentes de tres MCG que representan un rango bajo, mediano y extremo de cambio climático futuro para el desarrollo de la ola de calor utilizando los métodos mencionados; el modelo GFDL-ESM2G se tomó como el 10° percentil, el modelo bcc-csm1-1 como la media y el modelo CSIRO-MK3-6-0 como el 90° percentil para utilizar la metodología propuesta por Meehl y Tebaldi (2004). Los

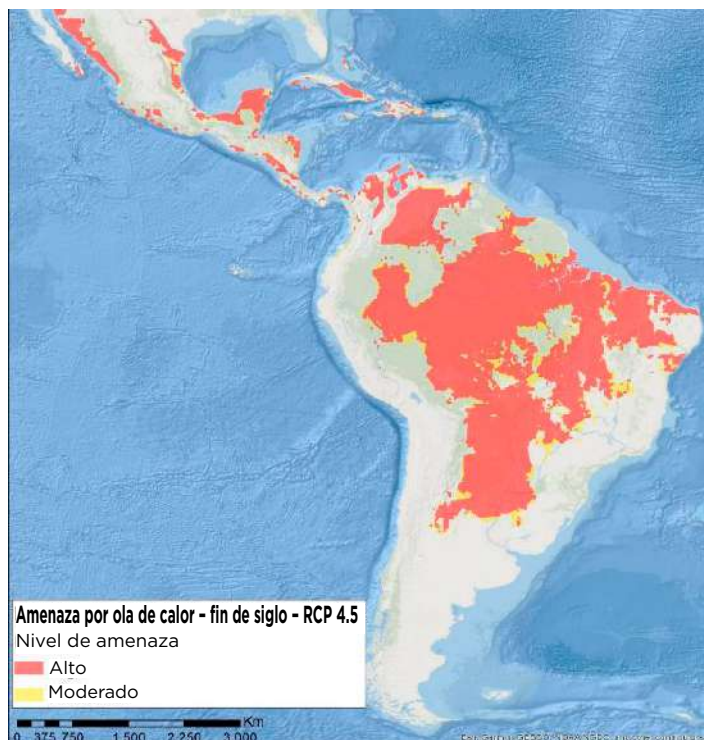
porcentajes se basan en la cantidad de días por encima de la temperatura extrema (definida como el 10° percentil de temperatura máxima diaria durante el periodo de 30 años) en una región determinada (es decir, una celda de una malla). La duración y la temperatura máxima experimentada durante la ola de calor pueden ayudar a indicar la severidad de los impactos de este fenómeno. Para incorporar estos dos factores y evaluar la amenaza por ola de calor, se utilizó un índice que combina duración y temperatura máxima llamado días-grado totales (DD, por sus siglas en inglés), que es el promedio de días grado totales de ola de calor por año. Se utilizaron valores medios de DD de los tres MCG correspondientes al periodo de 30 años del escenario del modelo generado mediante hindcast para crear umbrales. Se seleccionaron datos de modelos en lugar de datos históricos medidos que ofrecen una comparación más adecuada entre los resultados de esta capa de la amenaza y las dos capas de ola de calor con consideración del cambio climático (estos umbrales también se utilizaron para dos capas de amenaza por ola de calor que consideran el cambio climático).

Esta capa debe leerse junto con las capas de ola de calor que consideran el cambio climático para evaluar, en primer lugar, los niveles de la amenaza sin cambio climático y, en segundo lugar, cómo el patrón de la amenaza cambia para fin de siglo una vez incluido el cambio climático bajo el RCP 4.5 y el RCP 8.5 (las tres capas utilizan los mismos datos y modelado, por lo que son directamente comparables).

Fuente de información: NEX-GDDP (NASA Earth Exchange Global Daily Downscaled Projections). (2017). Data Access. Heatwave Hazard. Creado por el Banco Interamericano de Desarrollo mediante el procesamiento del conjunto de datos original. Descargado de <https://cds.nccs.nasa.gov/nex-gddp/>

Limitaciones: Los datos utilizados para crear esta métrica proceden de modelos y datos pronosticados y pueden no ser predictivos acerca de dónde se experimentarán o presentarán las amenazas en el futuro. Además, la escala de los datos brindados por la NASA (resolución aprox. de 25 km) puede no capturar las condiciones locales de los futuros impactos por ola de calor y es por ello que los datos no deben utilizarse para representar zonas afectadas por fenómenos futuros. Los datos se ofrecen con el objetivo de proporcionar tendencias generales sobre la probabilidad de ocurrencia de esta amenaza, únicamente para orientar consideraciones más localizadas relacionadas con procesos de toma de decisiones.

Mapa AC.5: Amenaza por ola de calor - Fin de siglo bajo RCP 4.5 (con cambio climático)



Esta capa muestra la amenaza por ola de calor para fin de siglo. El modelo detrás de este mapa considera variaciones a causa del cambio climático bajo la Trayectoria de Concentración Representativa (RCP) 4.5.

Esta capa muestra el mapa de la amenaza por ola de calor para fin de siglo considerando el cambio climático bajo RCP 4.5 (el índice de este mapa es el promedio del total de días-grado, o DD, de ola de calor por año). Los valores de DD inferiores a 79 se consideran amenaza de nivel “Bajo”, los valores de DD entre 80 y 165 se consideran amenaza de nivel “Moderado” y los valores de DD superiores a 165 se consideran amenaza de nivel “Alto”.

Esta capa fue creada a partir de conjuntos de datos de temperatura sometidos a downscaling procedentes de tres Modelos Climáticos Globales que permiten a los usuarios identificar zonas que pueden estar sujetas a olas de calor con base en periodos futuros (2071-2100) utilizando métodos detallados por Meehl y Tebaldi (2004). Se seleccionaron datos de modelos de temperatura pronosticados bajo la Trayectoria de Concentración Representativa (RCP) 4.5 procedentes de tres MCG que representan un rango bajo, mediano y extremo de cambio climático futuro (GFDL-ESM2G, bcc-csm1-1 y CSIRO-Mk3-6-0, respectivamente). El modelo GFDL-ESM2G se tomó como el 10° percentil, el modelo bcc-csm1-1 como la mediana

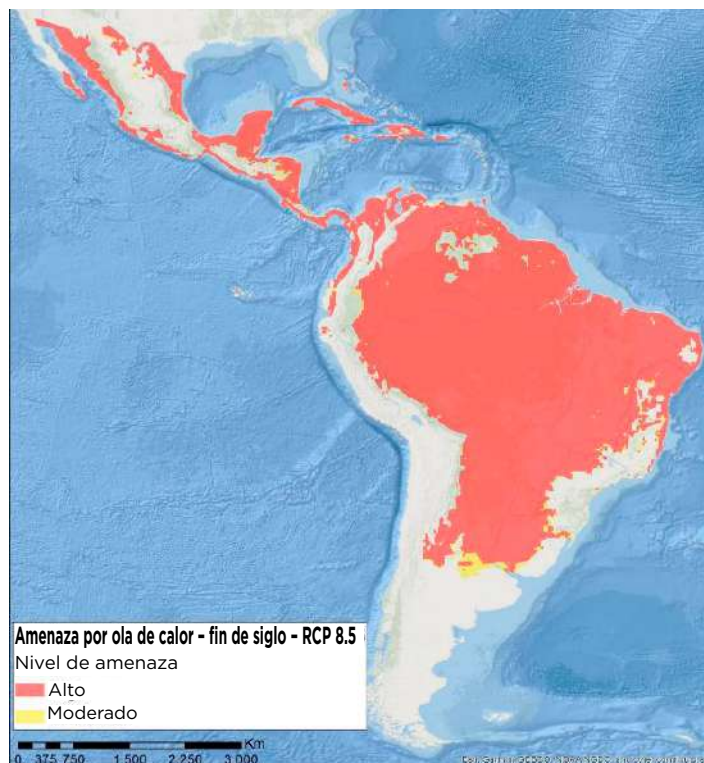
y el modelo CSIRO-MK3-6-0 como el 90° percentil para utilizar la metodología propuesta por Meehl y Tebaldi (2004). Los porcentajes se basan en la cantidad de días por encima de la temperatura extrema (definida como el 95° percentil de temperatura máxima diaria durante el periodo de 30 años) en una región determinada (es decir, una celda de una malla). La duración y la temperatura máxima experimentada durante la ola de calor pueden ayudar a indicar la severidad de los impactos de este fenómeno. Para incorporar estos dos factores y evaluar la amenaza por ola de calor, se utilizó un índice que combina duración y temperatura máxima llamado días-grado totales (DD), que es el promedio de días grado totales de ola de calor por año. Se seleccionaron datos de modelos en lugar de datos históricos medidos que ofrecen una comparación más adecuada entre los resultados de esta capa de la amenaza, la capa de amenaza de referencia y las otras capas de ola de calor con consideración del cambio climático (estos umbrales utilizados son los mismos para las tres capas).

Esta capa debe leerse junto con la capa de ola de calor estacionaria (que no considera el cambio climático) para evaluar, en primer lugar, los niveles de la amenaza sin cambio climático y, en segundo lugar, cómo los niveles de la amenaza cambian para fin de siglo una vez incluido el cambio climático bajo RCP 4.5 (las dos capas utilizan los mismos datos y modelado, por lo que son directamente comparables).

Fuente de información: NEX-GDDP (NASA Earth Exchange Global Daily Downscaled Projections). (2017). Data Access. Heatwave Hazard – End of Century under RCP 4.5. Creado por el Banco Interamericano de Desarrollo mediante el procesamiento del conjunto de datos original. Descargado de <https://cds.nccs.nasa.gov/nex-gddp/>

Limitaciones: Los datos utilizados para crear esta métrica proceden de modelos y datos pronosticados y pueden no ser predictivos acerca de dónde se experimentarán o presentarán las amenazas en el futuro. Además, la escala de los datos brindados por la NASA (resolución aprox. de 25 km) puede no capturar las condiciones locales de los futuros impactos por ola de calor y es por ello que los datos no deben utilizarse para representar zonas afectadas por fenómenos futuros. Los datos se ofrecen con el objetivo de proporcionar tendencias generales sobre la probabilidad de ocurrencia de esta amenaza, únicamente para orientar consideraciones más localizadas relacionadas con procesos de toma de decisiones.

Mapa AC6: Amenaza por ola de calor - Fin de siglo bajo RCP 8.5 (con cambio climático)



Esta capa muestra la amenaza por ola de calor para fin de siglo. El modelo detrás de este mapa considera variaciones a causa del cambio climático bajo la Trayectoria de Concentración Representativa (RCP) 8.5.

Esta capa muestra el mapa de la amenaza por ola de calor para fin de siglo considerando el cambio climático bajo RCP 8.5 (el índice de este mapa es el promedio del total de días-grado, o DD, de ola de calor por año). Los valores de DD inferiores a 79 se consideran amenaza de nivel “Bajo”, los valores de DD entre 80 y 165 se consideran amenaza de nivel “Moderado” y los valores de DD superiores a 165 se consideran amenaza de nivel “Alto”.

Esta capa fue creada a partir de conjuntos de datos de temperatura sometidos a downscaling procedentes de tres Modelos Climáticos Globales que permiten a los usuarios identificar zonas que pueden estar sujetas a olas de calor con base en periodos futuros (2071-2100) utilizando métodos detallados por Meehl y Tebaldi (2004). Se seleccionaron datos de modelos de temperatura pronosticados bajo la Trayectoria de Concentración Representativa (RCP) 8.5 procedentes de tres MCG que representan un rango bajo, mediano y extremo de cambio climático futuro. El modelo GFDL-ESM2G se tomó como el 10° percentil, el modelo bcc-csm1-1 como la mediana

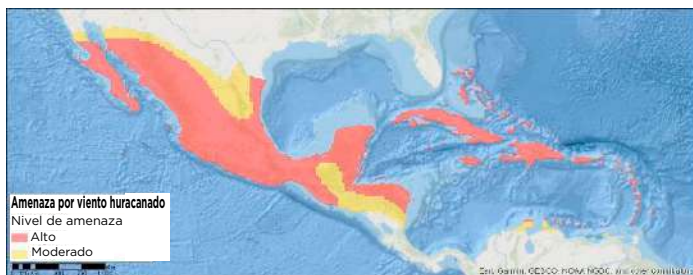
y el modelo CSIRO-MK3-6-0 como el 90° percentil para utilizar la metodología propuesta por Meehl y Tebaldi (2004). Los porcentajes se basan en la cantidad de días por encima de la temperatura extrema (definida como el ^{ésimo} percentil de temperatura máxima diaria durante el periodo de 30 años) en una región determinada (es decir, una celda de una malla). La duración y la temperatura máxima experimentada durante la ola de calor pueden ayudar a indicar la severidad de los impactos de este fenómeno. Para incorporar estos dos factores y evaluar la amenaza por ola de calor, se utilizó un índice que combina duración y temperatura máxima llamado días-grado totales (DD), que es el promedio de días grado totales de ola de calor por año. Se seleccionaron datos de modelos en lugar de datos históricos medidos que ofrecen una comparación más adecuada entre los resultados de esta capa de la amenaza, la capa de amenaza de referencia y las otras capas de ola de calor con consideración del cambio climático (estos umbrales utilizados son los mismos para las tres capas).

Esta capa debe leerse junto con la capa de ola de calor estacionaria (que no considera el cambio climático) para evaluar, en primer lugar, los niveles de la amenaza sin cambio climático y, en segundo lugar, cómo los niveles de la amenaza cambian para fin de siglo una vez incluido el cambio climático bajo RCP 8.5 (las dos capas utilizan los mismos datos y modelado, por lo que son directamente comparables).

Fuente de información: NEX-GDDP (NASA Earth Exchange Global Daily Downscaled Projections). (2017). Data Access. Heatwave Hazard - End of Century under RCP 8.5. Creado por el Banco Interamericano de Desarrollo mediante el procesamiento del conjunto de datos original. Descargado de <https://cds.nccs.nasa.gov/nex-gddp/>

Limitaciones: Los datos utilizados para crear esta métrica proceden de modelos y datos pronosticados y pueden no ser predictivos acerca de dónde se experimentarán o presentarán las amenazas en el futuro. Además, la escala de los datos brindados por la NASA (resolución aprox. de 25 km) puede no capturar las condiciones locales de los futuros impactos por ola de calor y es por ello que los datos no deben utilizarse para representar zonas afectadas por fenómenos futuros. Los datos se ofrecen con el objetivo de proporcionar tendencias generales sobre la probabilidad de ocurrencia de esta amenaza, únicamente para orientar consideraciones más localizadas relacionadas con procesos de toma de decisiones.

Mapa AC.7: Amenaza por viento huracanado



Esta capa muestra la amenaza por viento huracanado. El modelo detrás de este mapa no considera las variaciones a causa del cambio climático (es decir, asume que no habrá un cambio significativo, con el transcurso del tiempo, en el modo en que la amenaza se ha presentado históricamente).

Esta capa muestra el mapa de amenaza probabilísticamente integrado para velocidad del viento (velocidad de viento media sostenida 3 segundos estimada a 10 metros sobre la superficie del agua/de la tierra - en km/h) para un periodo de retorno de 500 años. Los valores de velocidad de viento inferiores a 185 km/h (incluidas todas las demás zonas tierra adentro que no fueron clasificadas como nivel Moderado o Alto) se consideran nivel “Bajo”, los valores de velocidad de viento entre 185 km/h y 209 km/h (inclusive) se consideran nivel “Moderado” y los valores de velocidad de viento superiores a 209 km/h se consideran nivel “Alto”.

Esta capa se creó con base en un conjunto de datos globales almacenados en malla con una resolución de 30 km que permite al usuario identificar zonas que pueden estar sujetas a vientos dañinos originados por huracanes. Los datos corresponden a resultados del modelo probabilista de amenaza por viento fuerte ciclónico tropical y marea de tormenta desarrollado para la evaluación de riesgo global del Global Assessment Report on Risk Reduction 2015 (GAR 15) de UNISDR. Este modelo de amenaza recurre a datos históricos y modelado predictivo para obtener un conjunto de eventos simulados estocásticamente que representa un conjunto exhaustivo de todos los eventos que podrían ocurrir en algún momento; este conjunto no solo representa los comportamientos pasados, sino que incluye además eventos extremos que no necesariamente han ocurrido y que aún pueden ocurrir. El modelo utiliza información de 2.594 ciclones tropicales históricos, además de datos sobre topografía, rugosidad del terreno y batimetría. Los ciclones tropicales históricos utilizados en el modelo de amenaza por viento ciclónico y marea de tormenta para el

GAR 15 cubren las cinco cuencas oceánicas diferentes: Noreste del Pacífico, Noroeste del Pacífico, Pacífico Sur, Índico Norte, Índico Sur y Atlántico Norte. En todos los casos, los datos asociados a cada trayectoria se obtuvieron de la base de datos IBTrACS (Knapp y otros, 2010). Se utilizaron datos topográficos de la misión de la NASA Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), que ofrecen mallas de elevación del terreno con una resolución de 90 metros presentada por cuadrantes en todo el mundo; además, para incorporar la rugosidad del terreno, se obtuvieron polígonos de zonas urbanas de todo el mundo procedentes del SEDAC (Centro de Datos y Aplicaciones Socioeconómicas) (CIESIN y otros, 2011). También se utilizó un modelo de batimetría digital con una resolución de 30 arcosegundos de la Base de Datos Almacenados en Grilla GEBCO_08 (gráfico batimétrico general de los océanos) del British Oceanographic Data Centre (2009). El modelado de la amenaza se realizó utilizando el software Tropical Cyclones Hazard Modeler del Equipo CAPRA (Bernal, 2014); para obtener más información sobre el modelo de amenaza por viento ciclónico y marea de tormenta, véase Cardona y otros, 2015.

Fuente de información: UNISDR (Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de las Naciones Unidas). (s.f.). GAR Atlas: Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction - Risk Data Platform. Cyclone Wind 500 years return period [raster geospatial data Cyclonic wind_RT500years_g154]. Hurricane Wind Hazard. Creado por el Banco Interamericano de Desarrollo mediante el procesamiento del conjunto de datos original. Descargado de <https://risk.preventionweb.net/capraviewer/download.jsp?tab=9&-mapcenter=0,1123252.6982849&mapzoom=2>

Limitaciones: Si bien estos datos no son únicamente históricos ya que incluyen modelado predictivo, no se los debe considerar predictivos acerca de dónde se experimentarán o presentarán amenazas en el futuro. Además, la escala de los datos brindados por UNISDR puede no capturar los efectos locales de ciclones/mareas de tormenta de huracán y es por ello que los datos no deben utilizarse para representar la amenaza por viento prevista con respecto a fenómenos futuros. Los datos se ofrecen con el objetivo de proporcionar tendencias generales sobre esta amenaza, únicamente para orientar consideraciones más localizadas relacionadas con procesos de toma de decisiones.

Mapa AC.8: Amenaza por marea de tormenta de huracán



Esta capa muestra la amenaza por marea de tormenta. El modelo detrás de este mapa no considera las variaciones a causa del cambio climático (es decir, asume que no habrá un cambio significativo, con el transcurso del tiempo, en el modo en que la amenaza se ha presentado históricamente).

Esta capa muestra el mapa de la amenaza probabilísticamente integrado para la altura de penetración de la marea de tormenta (altura máxima vertical sobre la costa por encima del nivel medio del mar alcanzada por el agua, en metros) para un periodo de retorno de 250 años. Los valores de altura de penetración inferiores a 0,1 metros (incluidas todas las demás zonas tierra adentro que no fueron clasificadas como nivel Moderado o Alto) se consideran nivel “Bajo”, los valores de altura de penetración entre 0,1 metros y 2 metros (inclusive) se consideran nivel “Moderado” y los valores de altura de penetración superiores a 2 metros se consideran nivel “Alto”. Las zonas identificadas como nivel “Moderado” o nivel “Alto” se limitaron a zonas dentro de los 5 km de distancia con respecto a zonas existentes influenciadas por la marea, es decir, zonas costeras.

Esta capa fue creada a partir de un conjunto de datos globales de puntos a los que se les agregó un buffer para crear una zona tierra adentro a una distancia aproximada de 5 km de la costa, que permite a los usuarios identificar zonas que pueden estar sujetas a mareas de tormenta de huracanes. Los datos de puntos corresponden a los resultados del modelo probabilista de amenaza por viento fuerte ciclónico tropical y marea de tormenta desarrollado para la evaluación de riesgo global del Global Assessment Report on Risk Reduction 2015 (GAR 15) de UNISDR. Este modelo de amenaza recurre a datos históricos y modelado predictivo para obtener un conjunto de eventos simulados estocásticamente que representa un conjunto exhaustivo de todos los eventos que podrían ocurrir en algún momento; este conjunto no solo representa los comportamientos pasados, sino que incluye además eventos extremos que no necesariamente han ocurrido y que aún pueden ocurrir. El modelo utiliza información

de 2.594 ciclones tropicales históricos, además de datos sobre topografía, rugosidad del terreno y batimetría. Los ciclones tropicales históricos utilizados en el modelo de amenaza por viento ciclónico y marea de tormenta para el GAR 15 cubren las cinco cuencas oceánicas diferentes: Noreste del Pacífico, Noroeste del Pacífico, Pacífico Sur, Índico Norte, Índico Sur y Atlántico Norte. En todos los casos, los datos asociados a cada trayectoria se obtuvieron de la base de datos IBTrACS (Knapp y otros, 2010). Se utilizaron datos topográficos de la misión de la NASA Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), que ofrecen mallas de elevación del terreno con una resolución de 90 metros presentada por cuadrantes en todo el mundo; además, para incorporar la rugosidad del terreno, se obtuvieron polígonos de zonas urbanas de todo el mundo procedentes del SEDAC (Centro de Datos y Aplicaciones Socioeconómicas) (CIESIN y otros, 2011). También se utilizó un modelo de batimetría digital con una resolución de 30 arcosegundos de la Base de Datos Almacenados en Grilla GEBCO_08 (gráfico batimétrico general de los océanos) del British Oceanographic Data Centre (2009). El modelado de la amenaza se realizó utilizando el software Tropical Cyclones Hazard Modeler del Equipo CAPRA (Bernal, 2014); para obtener más información sobre el modelo de amenaza por viento ciclónico y marea de tormenta, véase Cardona y otros, 2015.

Fuente de información: UNISDR (Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de las Naciones Unidas). (s.f.). Global Risk Data Platform. Storm Surge hazard 250 years [Shapefile geospatial data storm_surge_hazard_shapefile]. Hurricane Storm Surge Hazard. Creado por el Banco Interamericano de Desarrollo mediante el procesamiento del conjunto de datos original. Descargado de <https://preview.grid.unep.ch/index.php?preview=data&events=gar2015&evcat=37&metaid=179&lang=eng>

Limitaciones: Si bien estos datos no son únicamente históricos ya que incluyen modelado predictivo, no se los debe considerar predictivos acerca de dónde se experimentarán o presentarán con seguridad amenazas en el futuro. Además, la escala de los datos brindados por UNISDR puede no capturar los efectos locales de ciclones/mareas de tormenta de huracán y es por ello que no deben utilizarse para representar zonas de inundación prevista con respecto a fenómenos futuros. Los datos se ofrecen con el objetivo de proporcionar tendencias generales sobre esta amenaza, únicamente para orientar consideraciones más localizadas relacionadas con procesos de toma de decisiones.

Mapa AC.9: Amenaza por deslizamiento de tierra



Esta capa muestra la amenaza por deslizamiento de tierra. El modelo detrás de este mapa no considera las variaciones a causa del cambio climático (es decir, asume que no habrá un cambio significativo, con el transcurso del tiempo, en el modo en que la amenaza se ha presentado históricamente).

Esta capa muestra el mapa de la amenaza por deslizamiento de tierra (el índice del mapa es la probabilidad anual y porcentaje de píxel esperado de ocurrencia de un fenómeno potencialmente destructivo, multiplicado por 1.000.000). Los valores del índice inferiores a 50 se consideran amenaza de nivel “Bajo”, los valores del índice entre 50 y 1.000 se consideran amenaza de nivel “Moderado” y los valores del índice superiores a 1.000 se consideran amenaza de nivel “Alto”.

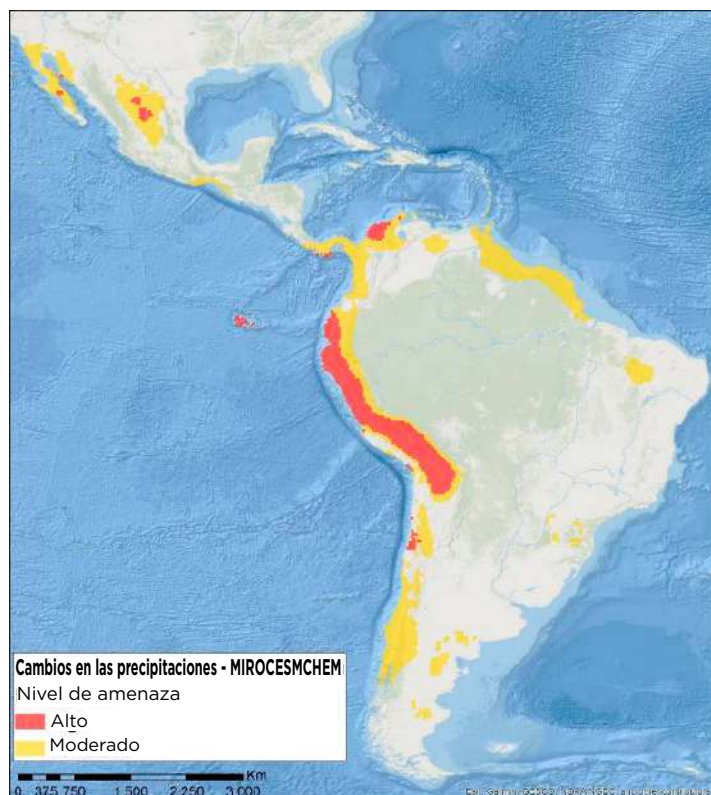
Esta capa se creó con base en tres conjuntos de datos globales que permiten al usuario identificar zonas que pueden estar sujetas a fenómenos de deslizamiento de tierra. Los datos corresponden a los resultados de la evaluación de la amenaza por deslizamiento de tierra desarrollada para la evaluación de riesgo global del Global Assessment Report on Risk Reduction 2009 (GAR 09) de UNISDR. Se desarrollaron utilizando dos conjuntos de datos almacenados en malla con 1 km de resolución de PNUMA que representan la probabilidad anual de desli-

zamientos de tierra originados por terremotos o precipitaciones. Dependen de la combinación de factor detonante y susceptibilidad definida por seis parámetros: pendiente, litología, humedad del suelo, cobertura vegetal, precipitación y condiciones sísmicas. El tercer conjunto de datos se utilizó para identificar áreas con pendientes pronunciadas (>10%) obtenidas de un DEM con resolución de 30 m producido por la misión SRTM de la NASA que luego se utilizó para someter a downscaling ambos conjuntos de datos almacenados en grilla de 1 km de resolución de GAR 09 para un mapeo de deslizamiento de tierra más preciso.

Fuente de información: PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente) y UNISDR (Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres). (2015). Global Risk Data Platform. Landslides - Frequency (triggered by Earthquakes and triggered by Precipitations) [raster geospatial data ls_eq_tiff and ls_pr_tiff]. Landslide Hazard. Creado por el Banco Interamericano de Desarrollo mediante el procesamiento del conjunto de datos original. Descargado de <https://preview.grid.unep.ch/index.php?preview=data&events=droughts&evcat=1&lang=eng>

Limitaciones: Los datos utilizados para crear esta métrica son históricos y, por naturaleza, no son predictivos acerca de dónde se experimentarán o presentarán las amenazas en el futuro. Además, la escala de los datos brindados por PNUMA puede no capturar las condiciones locales de los futuros fenómenos de deslizamiento de tierra y es por ello que los datos no deben utilizarse para representar zonas afectadas por fenómenos futuros. Los datos se ofrecen con el objetivo de proporcionar tendencias generales sobre esta amenaza, únicamente para orientar consideraciones más localizadas relacionadas con procesos de toma de decisiones.

Mapa AC.10: Cambios en las precipitaciones - Fin de siglo con cambio climático (modelo MIROC-ESM-CHEM)



Esta capa muestra el cambio en las precipitaciones para fin de siglo. El modelo detrás de este mapa considera variaciones a causa del cambio climático bajo la Trayectoria de Concentración Representativa (RCP) 8.5 y el Modelo Climático Global MIROC-ESM-CHEM.

Esta capa muestra el cambio en las precipitaciones esperadas para fin de siglo considerando el cambio climático (cambio porcentual en las precipitaciones para el periodo 2070-2099 con respecto al periodo 1976-2005 utilizando el modelo MIROC-ESM-CHEM). Los cambios porcentuales entre -25% y +25% se consideran amenaza de nivel "Bajo", los cambios porcentuales entre -50% y -25% o entre +25% y +50% se consideran amenaza de nivel "Moderado" y los cambios porcentuales superiores a -50% o +50% se consideran amenaza de nivel "Alto".

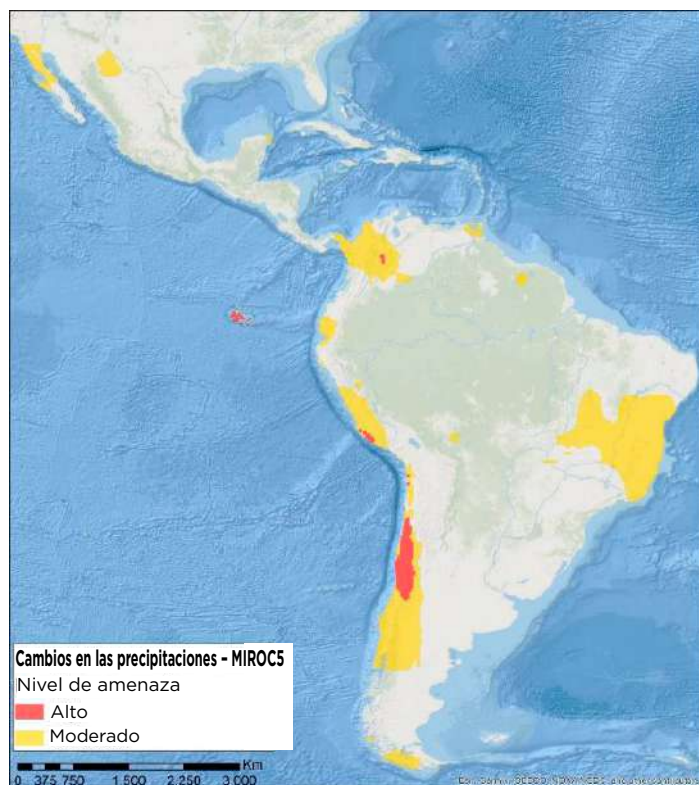
Esta capa con resolución de 25 km considera el impacto del cambio climático en los patrones de precipitaciones. Se creó a partir de datos de precipitaciones futuras globales (Proyecciones con downscaling diarias globales de intercambio de la Tierra de la NASA o NEX-GDDP) que permiten al usuario identificar zonas que pueden estar sujetas a cambios importantes en los patrones

de precipitación con base en conjuntos de datos de precipitaciones de uno de cinco Modelos Climáticos Globales (MCG) seleccionados: "MIROC-ESM-CHEM" (este modelo es el resultado de investigaciones realizadas por la Agencia Japonesa de Ciencia Marino-Terrestre y Tecnología, el Atmosphere and Ocean Research Institute y el Center for Climate System Research del National Institute for Environmental Studies). Este modelo incluye componentes de la atmósfera, del océano, del hielo marino, de la superficie terrestre, de la biogeoquímica oceánica y terrestre y de la química y los aerosoles de la atmósfera. Representa las estimaciones de cambio en las precipitaciones (cambio porcentual) utilizando la Trayectoria de Concentración Representativa (RCP) 8.5, la línea de base histórica 1976-2005 y el periodo futuro 2070-2099.

Fuente de información: NEX-GDDP (NASA Earth Exchange Global Daily Downscaled Projections). (2017). Data Access. Precipitation changes - End of Century MIROC-ESM-CHEM. Creado por el Banco Interamericano de Desarrollo mediante el procesamiento del conjunto de datos original. Descargado de <https://cds.nccs.nasa.gov/nex-gddp/>

Limitaciones: Los datos utilizados para crear esta métrica proceden de modelos y datos pronosticados y pueden no ser predictivos acerca de dónde se experimentarán o presentarán las amenazas en el futuro. Además, la escala de los datos brindados por la NASA (resolución aprox. de 25 km) puede no capturar las condiciones locales de los futuros impactos por ola de calor y es por ello que los datos no deben utilizarse para representar zonas afectadas por fenómenos futuros. Los datos se ofrecen con el objetivo de proporcionar tendencias generales sobre la probabilidad de ocurrencia de esta amenaza, únicamente para orientar consideraciones más localizadas relacionadas con procesos de toma de decisiones.

Mapa AC.11: Cambios en las precipitaciones - Fin de siglo con cambio climático (modelo MIROC5)



Esta capa muestra el cambio en las precipitaciones para fin de siglo. El modelo detrás de este mapa considera variaciones a causa del cambio climático bajo la Trayectoria de Concentración Representativa (RCP) 8.5 y el Modelo Climático Global MIROC-5.

Esta capa muestra el cambio en las precipitaciones esperadas para fin de siglo considerando el cambio climático (cambio porcentual en las precipitaciones para el periodo 2070-2099 con respecto al periodo 1976-2005 utilizando el modelo MIROC-5). Los cambios porcentuales entre -25% y +25% se consideran amenaza de nivel "Bajo", los cambios porcentuales entre -50% y -25% o entre +25% y +50% se consideran amenaza de nivel "Moderado" y los cambios porcentuales superiores a -50% o +50% se consideran amenaza de nivel "Alto".

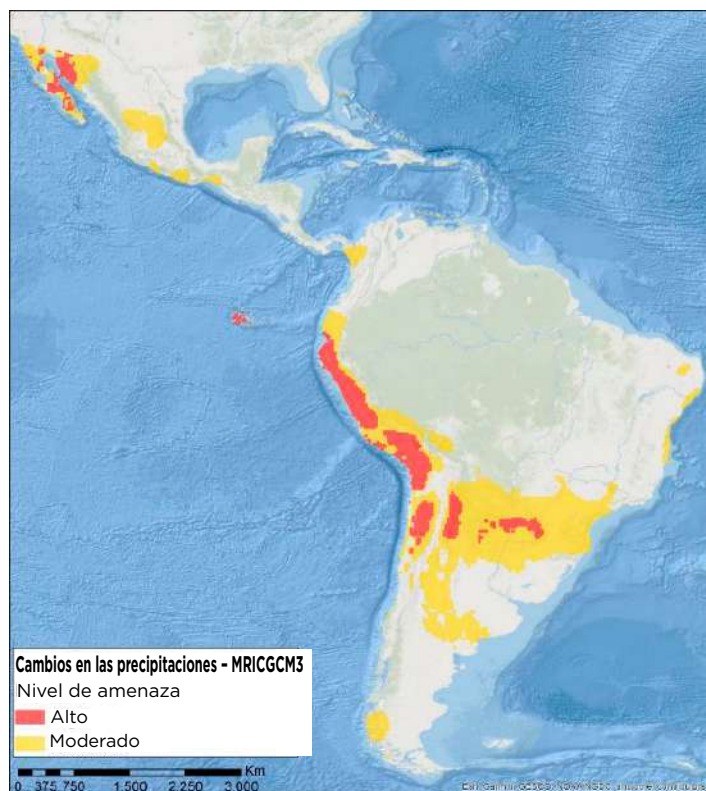
Esta capa con resolución de 25 km considera el impacto del cambio climático en los patrones de precipitaciones. Se creó a partir de datos de precipitaciones futuras globales (Proyecciones con downscaling diarias globales de intercambio de la Tierra de la NASA o NEX-GDDP) que permiten al usuario identificar zonas que pueden estar sujetas a cambios importantes en los patrones de precipitación con base en uno de cinco conjuntos

de datos de precipitaciones de Modelos Climáticos Globales (MCG) seleccionados: MIROC-5 (este modelo es el resultado de investigaciones realizadas por la Agencia Japonesa de Ciencia Marino-Terrestre y Tecnología, el Atmosphere and Ocean Research Institute y el Center for Climate System Research del National Institute for Environmental Studies). Se trata de un modelo de circulación general atmósfera-océano (MCGAO). Representa las estimaciones de cambio en las precipitaciones (cambio porcentual) utilizando la Trayectoria de Concentración Representativa (RCP) 8.5, la línea de base histórica 1976-2005 y el periodo futuro 2070-2099.

Fuente de información: NEX-GDDP (NASA Earth Exchange Global Daily Downscaled Projections). (2017). Data Access. Precipitation changes - End of Century MIROC5. Creado por el Banco Interamericano de Desarrollo mediante el procesamiento del conjunto de datos original. Descargado de <https://cds.nccs.nasa.gov/nex-gddp/>

Limitaciones: Los datos utilizados para crear esta métrica proceden de modelos y datos pronosticados y pueden no ser predictivos acerca de dónde se experimentarán o presentarán las amenazas en el futuro. Además, la escala de los datos brindados por la NASA (resolución aprox. de 25 km) puede no capturar las condiciones locales de los futuros impactos por ola de calor y es por ello que los datos no deben utilizarse para representar zonas afectadas por fenómenos futuros. Los datos se ofrecen con el objetivo de proporcionar tendencias generales sobre la probabilidad de ocurrencia de esta amenaza, únicamente para orientar consideraciones más localizadas relacionadas con procesos de toma de decisiones.

Mapas AC.12: Cambios en las precipitaciones - Fin de siglo con cambio climático (modelo MRI-CGCM3)



Esta capa muestra el cambio en las precipitaciones para fin de siglo. El modelo detrás de este mapa considera variaciones a causa del cambio climático bajo la Trayectoria de Concentración Representativa (RCP) 8.5 y el Modelo Climático Global MRI-CGCM3.

Esta capa muestra el cambio en las precipitaciones esperadas para fin de siglo considerando el cambio climático (cambio porcentual en las precipitaciones para el periodo 2070-2099 con respecto al periodo 1976-2005 utilizando el modelo MRI-CGCM3). Los cambios porcentuales entre -25% y +25% se consideran amenaza de nivel "Bajo", los cambios porcentuales entre -50% y -25% o entre +25% y +50% se consideran amenaza de nivel "Moderado" y los cambios porcentuales superiores a -50% o +50% se consideran amenaza de nivel "Alto".

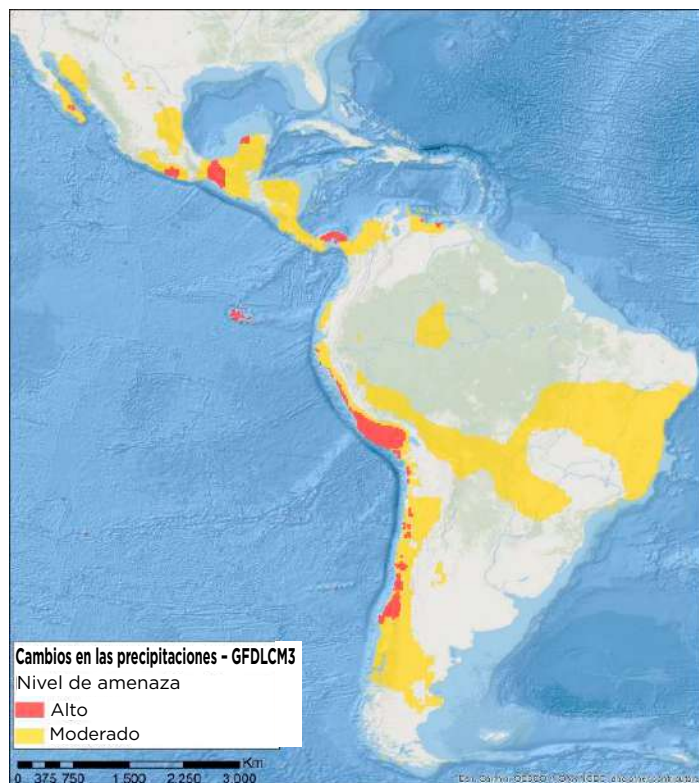
Esta capa con resolución de 25 km considera el impacto del cambio climático en los patrones de precipitaciones. Se creó a partir de datos de precipitaciones futuras globales (Proyecciones con downscaling diarias globales de intercambio de la Tierra de la NASA o NEX-GDDP) que permiten al usuario identificar zonas que pueden estar sujetas a cambios importantes en los patrones de precipitación con base en conjuntos de datos de

precipitaciones de uno de cinco Modelos Climáticos Globales (MCG) seleccionados: "MRI-CGCM3" (este modelo es el resultado de investigaciones realizadas por la Agencia Japonesa de Ciencia Marino-Terrestre y Tecnología, el Atmosphere and Ocean Research Institute y el Center for Climate System Research del National Institute for Environmental Studies). Se trata de un modelo de circulación general atmósfera-océano (MCGAO). Representa las estimaciones de cambio en las precipitaciones (cambio porcentual) utilizando la Trayectoria de Concentración Representativa (RCP) 8.5, la línea de base histórica 1976-2005 y el periodo futuro 2070-2099.

Fuente de información: NEX-GDDP (NASA Earth Exchange Global Daily Downscaled Projections). (2017). Data Access. Precipitation changes - End of Century MRI-CGCM3. Creado por el Banco Interamericano de Desarrollo mediante el procesamiento del conjunto de datos original. Descargado de <https://cds.nccs.nasa.gov/nex-gddp/>

Limitaciones: Los datos utilizados para crear esta métrica proceden de modelos y datos pronosticados y pueden no ser predictivos acerca de dónde se experimentarán o presentarán las amenazas en el futuro. Además, la escala de los datos brindados por la NASA (resolución aprox. de 25 km) puede no capturar las condiciones locales de los futuros impactos por ola de calor y es por ello que los datos no deben utilizarse para representar zonas afectadas por fenómenos futuros. Los datos se ofrecen con el objetivo de proporcionar tendencias generales sobre la probabilidad de ocurrencia de esta amenaza, únicamente para orientar consideraciones más localizadas relacionadas con procesos de toma de decisiones.

Mapa AC.13: Cambios en las precipitaciones - Fin de siglo con cambio climático (modelo GFDL-CM3)



Esta capa muestra el cambio en las precipitaciones para fin de siglo. El modelo detrás de este mapa considera variaciones a causa del cambio climático bajo la Trayectoria de Concentración Representativa (RCP) 8.5 y el Modelo Climático Global GFDL-CM3.

Esta capa muestra el cambio en las precipitaciones esperadas para fin de siglo considerando el cambio climático (cambio porcentual en las precipitaciones para el periodo 2070-2099 con respecto al periodo 1976-2005 utilizando el modelo GFDL-CM3). Los cambios porcentuales entre -25% y +25% se consideran amenaza de nivel "Bajo", los cambios porcentuales entre -50% y -25% o entre +25% y +50% se consideran amenaza de nivel "Moderado" y los cambios porcentuales superiores a -50% o +50% se consideran amenaza de nivel "Alto".

Esta capa con resolución de 25 km considera el impacto del cambio climático en los patrones de precipitaciones. Se creó a partir de datos de precipitaciones futuras globales (Proyecciones con downscaling diarias globales de intercambio de la Tierra de la NASA o NEX-GDDP) que permiten al usuario identificar zonas que pueden estar sujetas a cambios importantes en los patrones de precipitación con base en conjuntos de datos de

precipitaciones de uno de cinco Modelos Climáticos Globales (MCG) seleccionados: "GFDL-CM3" (este modelo es el resultado de investigaciones realizadas por el Laboratorio Geofísico de Dinámica de Fluidos - GFDL - de la National Oceanic and Atmospheric Administration - NOAA). Representa las estimaciones de cambio en las precipitaciones (cambio porcentual) utilizando la Trayectoria de Concentración Representativa (RCP) 8.5, la línea de base histórica 1976-2005 y el periodo futuro 2070-2099.

Fuente de información: NEX-GDDP (NASA Earth Exchange Global Daily Downscaled Projections). (2017). Data Access. Precipitation changes - End of Century GFDL-CM3. Creado por el Banco Interamericano de Desarrollo mediante el procesamiento del conjunto de datos original. Descargado de <https://cds.nccs.nasa.gov/nex-gddp/>

Limitaciones: Los datos utilizados para crear esta métrica proceden de modelos y datos pronosticados y pueden no ser predictivos acerca de dónde se experimentarán o presentarán las amenazas en el futuro. Además, la escala de los datos brindados por la NASA (resolución aprox. de 25 km) puede no capturar las condiciones locales de los futuros impactos por ola de calor y es por ello que los datos no deben utilizarse para representar zonas afectadas por fenómenos futuros. Los datos se ofrecen con el objetivo de proporcionar tendencias generales sobre la probabilidad de ocurrencia de esta amenaza, únicamente para orientar consideraciones más localizadas relacionadas con procesos de toma de decisiones.

Mapa AC.14: Cambios en las precipitaciones - Fin de siglo con cambio climático (modelo BCC-CSM11)



Esta capa muestra el cambio en las precipitaciones para fin de siglo. El modelo detrás de este mapa considera variaciones a causa del cambio climático bajo la Trayectoria de Concentración Representativa (RCP) 8.5 y el Modelo Climático Global BCC-CSM11.

Esta capa muestra el cambio en las precipitaciones esperadas para fin de siglo considerando el cambio climático (cambio porcentual en las precipitaciones para el periodo 2070-2099 con respecto al periodo 1976-2005 utilizando el modelo BCC-CSM11). Los cambios porcentuales entre -25% y +25% se consideran amenaza de nivel “Bajo”, los cambios porcentuales entre -50% y -25% o entre +25% y +50% se consideran amenaza de nivel “Moderado” y los cambios porcentuales < -50% o > +50% se consideran amenaza de nivel “Alto”.

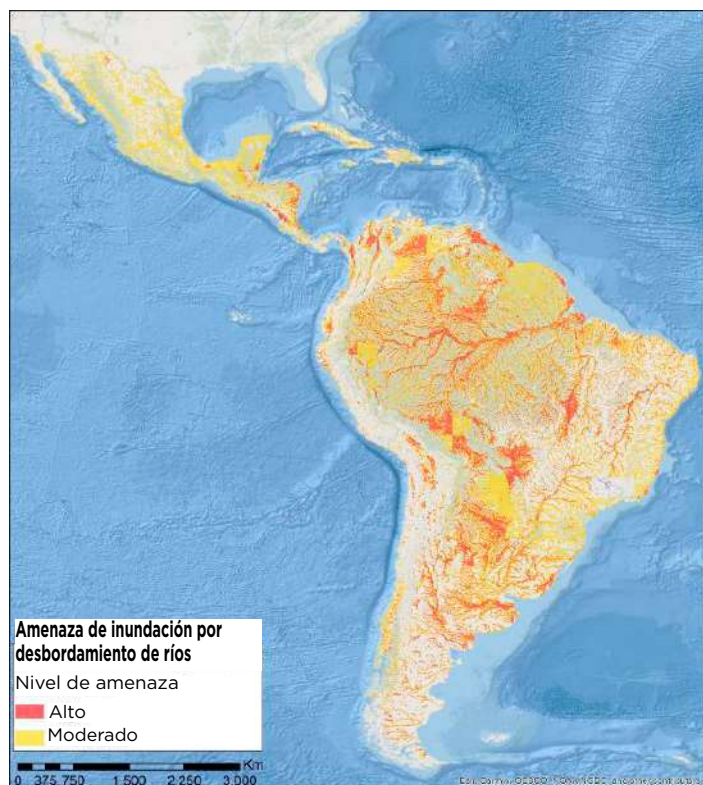
Esta capa considera el impacto del cambio climático en los patrones de precipitaciones. Se creó a partir de datos de precipitaciones diarias futuras globales (Proyecciones con downscaling diarias globales de intercambio de la Tierra de la NASA o NEX-GDDP) que permiten al usuario identificar zonas que pueden estar sujetas a cambios importantes en los patrones de precipitación con base en conjuntos de datos de precipitaciones de uno de cinco Modelos Climáticos Globales (MCG) seleccionados: “BCC-

CSM11” (este modelo es el resultado de investigaciones realizadas por el Centro Climático de Beijing). Se trata de un modelo de carbono-climático global totalmente acoplado. Representa las estimaciones de cambio en las precipitaciones (cambio porcentual) utilizando la Trayectoria de Concentración Representativa (RCP) 8.5, la línea de base histórica 1976-2005 y el periodo futuro 2070-2099.

Fuente de información: NEX-GDDP (NASA Earth Exchange Global Daily Downscaled Projections). (2017). Data Access. Precipitation changes - End of Century BCC-CSM11. Creado por el Banco Interamericano de Desarrollo mediante el procesamiento del conjunto de datos original. Descargado de <https://cds.nccs.nasa.gov/nex-gddp/>

Limitaciones: Los datos utilizados para crear esta métrica proceden de modelos y datos pronosticados y pueden no ser predictivos acerca de dónde se experimentarán o presentarán las amenazas en el futuro. Además, la escala de los datos brindados por la NASA (resolución aprox. de 25 km) puede no capturar las condiciones locales de los futuros impactos por ola de calor y es por ello que los datos no deben utilizarse para representar zonas afectadas por fenómenos futuros. Los datos se ofrecen con el objetivo de proporcionar tendencias generales sobre la probabilidad de ocurrencia de esta amenaza, únicamente para orientar consideraciones más localizadas relacionadas con procesos de toma de decisiones.

Mapa AC.15: Amenaza por inundación por desbordamiento de ríos



Esta capa muestra la amenaza por inundación por desbordamiento de ríos. El modelo detrás de este mapa no considera las variaciones a causa del cambio climático (es decir, asume que no habrá un cambio significativo, con el transcurso del tiempo, en el modo en que la amenaza se ha presentado históricamente).

Esta capa muestra el mapa de la amenaza por inundación por desbordamiento de ríos. Las zonas dentro del mapa correspondiente al periodo de retorno de 25 años se consideran de riesgo “Alto”, las zonas con periodo de retorno entre 50 y 100 años se consideran de riesgo “Moderado” y todas las demás zonas se consideran de “Bajo” riesgo.

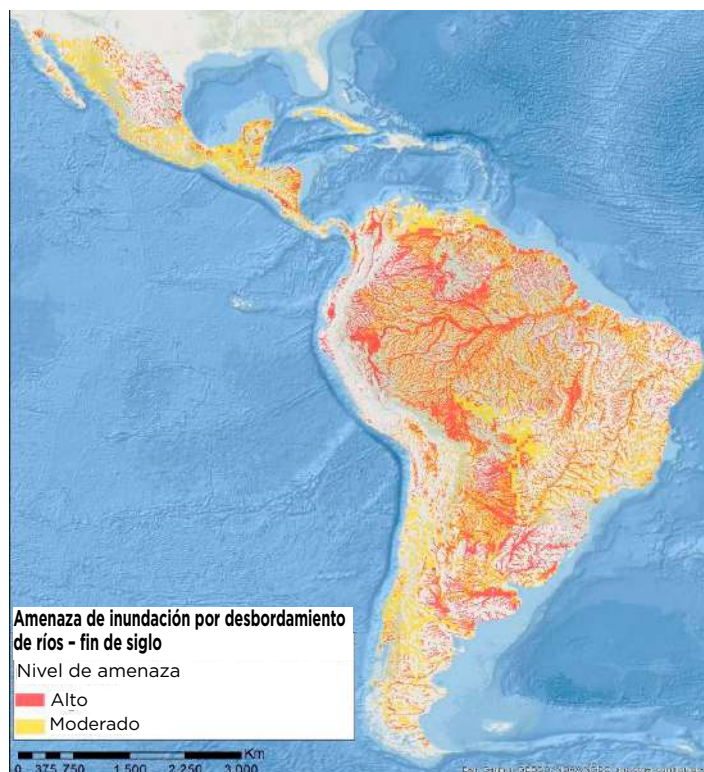
Esta capa fue creada utilizando el resultado del modelo de la evaluación de amenaza por inundación global del informe Global Assessment Report on Risk Reduction 2015 (GAR 15) de UNISDR. Utiliza datos históricos y un modelo de desbordamiento de ríos para obtener mapas de amenaza por inundación para 6 periodos de retorno (25, 50, 100, 200, 500 y 1000). Se utilizó un conjunto de datos almacenados en malla sobre zonas con pendientes leves (<5%) obtenido de un Modelo de Elevación Digital (DEM) con resolución

de 30 metros producido por la misión Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) de la NASA para someter a downscaling el conjunto de datos almacenados en grilla de 1 km de resolución de GAR 15 para obtener mapas de amenaza por inundación más precisos, pero limitados espacialmente a los conjuntos de datos de malla de GAR 15 con resolución de 1 km.

Fuente de información: UNISDR (Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de las Naciones Unidas). (s.f.). GAR Atlas: Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction - Risk Data Platform. Flood hazard 25, 50 and 100 years [raster geospatial data flood_25_g1510, flood_50_g1511 and flood_100_g1517]. Riverine Flooding Hazard. Creado por el Banco Interamericano de Desarrollo mediante el procesamiento del conjunto de datos original. Descargado de <https://risk.preventionweb.net/capraviewer/download.jsp?tab=9&mapcenter=0,1123252.6982849&mapzoom=2>

Limitaciones: Los datos utilizados para crear esta métrica son históricos y están basados en enfoques de modelado probabilista; por naturaleza, no son predictivos acerca de dónde se experimentarán o presentarán las amenazas en el futuro. Además, incluso luego del proceso de downscaling realizado con los datos de DEM de la misión SRTM de la NASA, la escala de los datos brindados por el informe GAR 15 de PNUMA puede no capturar los efectos locales de los fenómenos de desbordamiento de ríos y es por ello que los datos no deben utilizarse para representar zonas de inundación o impacto previstas con respecto a fenómenos futuros. Los datos se ofrecen con el objetivo de proporcionar tendencias generales sobre esta amenaza, únicamente para orientar consideraciones más localizadas relacionadas con procesos de toma de decisiones.

Mapa AC.16: Amenaza por desbordamiento de ríos - Fin de siglo (con cambio climático)



Esta capa muestra el mapa de la amenaza por desbordamiento de ríos para fin de siglo, considerando el cambio climático.

La capa fue creada utilizando numerosos conjuntos de datos. Como primer paso, se estimó el cambio futuro (positivo, negativo o sin cambio) en la amenaza por inundación utilizando la metodología descrita por Dankers y otros (2014), lo que dio como resultado una capa de inundación futura con una resolución de 55 km que representa el cambio porcentual en el periodo de retorno de 30 años - Q30 - de los ríos para el periodo 2070-2099 con relación al periodo 1971-2000. Los cambios porcentuales entre -100% y +10% se consideran nivel "Bajo", entre +10% y 20% se consideran nivel "Moderado" y por encima de +20% se consideran nivel "Alto". A continuación, esta capa fue procesada junto con la capa de amenaza por inundación estacionaria (sin cambio climático) aplicando el siguiente procedimiento: primero, la extensión total de las zonas con nivel de amenaza moderado y alto de la capa estacionaria fue ampliada en 1 kilómetro en todas las direcciones (el motivo es que incluso las zonas que pueden tener una disminución estimada en el Q30 pueden igualmente experimentar fenómenos de tormenta más intensos en condiciones climáticas futuras y, por lo tanto, presentar mayores extensiones de inundación),

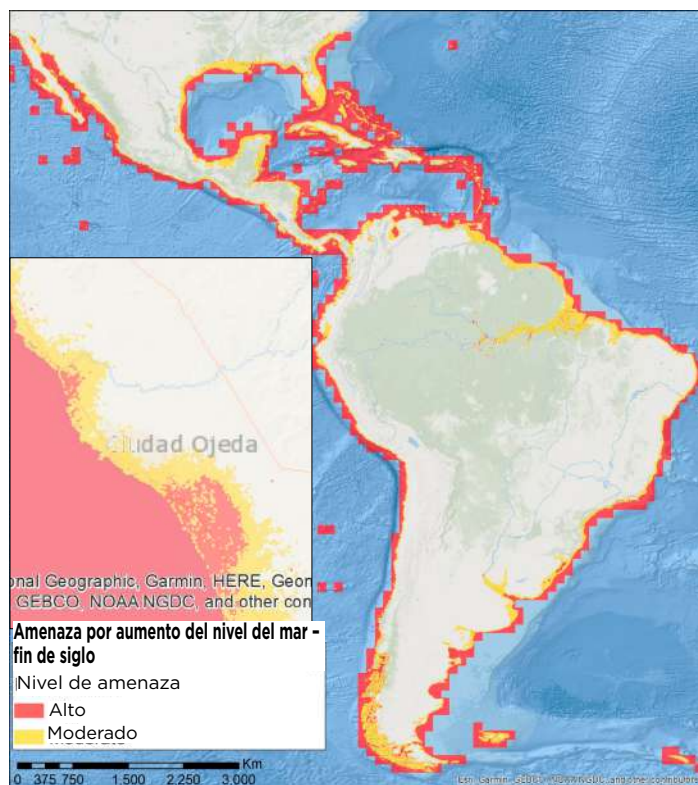
en segundo lugar, las zonas ya identificadas con nivel de amenaza moderado o alto en la capa estacionaria e identificadas como de nivel moderado en la capa de 55 km de resolución correspondiente a clima futuro permanecieron sin cambios en su capa de amenaza y, por último, las zonas ya identificadas con nivel de amenaza moderado o alto en la capa estacionaria e identificadas con nivel alto en la capa de 55 km de resolución correspondiente a clima futuro fueron reclasificadas con nivel de amenaza alto. Se utilizó un conjunto de datos almacenados en malla sobre zonas con pendientes leves (<5%) obtenido del Modelo de Elevación Digital (DEM) con resolución de 30 metros producido por la misión Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) de la NASA para someter a downscaling el conjunto de datos almacenados en grilla de 1 km de resolución de GAR 15 para obtener mapas de amenaza probable por inundación más precisos, pero limitados espacialmente a las extensiones de los conjuntos de datos de malla de GAR 15 con resolución de 1 km, con un *buffer* de 2 kilómetros.

Esta capa debe leerse junto con la capa de inundación estacionaria (que no considera el cambio climático) para evaluar, en primer lugar, los niveles de la amenaza sin cambio climático y, en segundo lugar, cómo los niveles de la amenaza cambian para fin de siglo una vez incluido el cambio climático (son directamente comparables porque en la capa correspondiente al clima futuro se tomó la capa estacionaria como base para el cómputo).

Fuente de información: ISIMIP (Inter-Sectoral Impact Model Intercomparison Project). (2017). Archivo de datos Fast Track. Riverine Flooding Hazard -End of the Century (with Climate Change). Creado por el Banco Interamericano de Desarrollo mediante el procesamiento del conjunto de datos original. Descargado de <https://esg.pik-potsdam.de/search/isimip-ft/>

Limitaciones: Los datos utilizados para crear esta métrica proceden de modelos históricos y pronosticados y pueden no ser predictivos acerca de dónde se experimentarán o presentarán las amenazas en el futuro. Además, la escala de los datos brindados por ISIMIP (resolución aprox. de 55 km) y GAR 15 de UNISDR (resolución de 1 km) puede no capturar las condiciones locales de los futuros impactos por inundación y es por ello que los datos no deben utilizarse para representar zonas afectadas por fenómenos futuros. Los datos se ofrecen con el objetivo de proporcionar tendencias generales sobre esta amenaza, únicamente para orientar consideraciones más localizadas relacionadas con procesos de toma de decisiones.

Mapa AC.17: Amenaza por aumento del nivel del mar - Fin de siglo (con cambio climático)



Esta capa muestra la amenaza por aumento del nivel del mar para fin de siglo. El modelo detrás de este mapa considera variaciones a causa del cambio climático.

Esta capa muestra el mapa de la amenaza por aumento del nivel del mar en el futuro (los niveles de amenaza se determinaron utilizando la elevación del terreno solamente). Las elevaciones del terreno por encima del nivel del mar hasta 0,61 metros (2 pies) se consideran con nivel de amenaza "Alto", entre 0,61 metros (2 pies) y 1,22 metros (4 pies) se consideran nivel "Moderado" y por encima de 1,22 metros (4 pies) se consideraran nivel "Bajo". Las zonas identificadas como nivel "Moderado" o nivel "Alto" con respecto a esta amenaza se limitaron a zonas dentro de los 100 km de distancia con respecto a zonas existentes influenciadas por la marea, es decir, zonas costeras.

Esta capa se creó con base en un conjunto de datos globales que permite al usuario identificar zonas que pueden estar sujetas a inundación por aumento futuro del nivel del mar/océano. Se creó utilizando un Modelo de Elevación Digital (DEM) con 30 metros de resolución producido por la misión de la NASA Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). Los rangos de elevación del terreno se seleccionaron con base en las estimaciones

de la Evaluación Climática Nacional de EE.UU. de 2014 (conservadora) acerca de que el nivel del mar aumentará otros 0,3 a 1,22 metros (1 a 4 pies), quizás 1,83 metros (6 pies) hacia fin de siglo (año 2100).

Fuente de información: NASA (National Aeronautics and Space Administration). (2017). Land Processes Distributed Active Archive Center (LP DAAC) de la NASA. Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). Sea Level Rise hazard. Creado por el Banco Interamericano de Desarrollo mediante el procesamiento del conjunto de datos original. Descargado de <https://e4ftl01.cr.usgs.gov/>

Limitaciones: Los datos utilizados para crear esta métrica fueron tomados de datos existentes y, por naturaleza, no son predictivos acerca de dónde se experimentarán o presentarán las amenazas en el futuro. Además, la escala de los datos brindados por la NASA (resolución aprox. de 30 metros) puede no capturar las condiciones locales de los futuros impactos por aumento del nivel del mar y es por ello que los datos no deben utilizarse para representar zonas afectadas por fenómenos futuros. Los datos se ofrecen con el objetivo de proporcionar tendencias generales sobre la probabilidad de ocurrencia de esta amenaza, únicamente para orientar consideraciones más localizadas relacionadas con procesos de toma de decisiones.

Mapa AC.18: Amenaza por tsunami



Esta capa muestra el mapa de la amenaza probabilísticamente integrado para la altura de penetración de aguas (altura máxima vertical sobre la costa por encima del nivel medio del mar alcanzada por el agua, en metros) para un periodo de retorno de 475 años. Los valores de altura de penetración inferiores a 0,1 m se consideran nivel de amenaza “Bajo”, los valores entre 0,1 m y 2 m (inclusive) se consideran nivel de amenaza “Moderado” y los valores superiores a 2 m se consideran nivel de amenaza “Alto”. Las zonas identificadas como nivel “Moderado” o nivel “Alto” se limitaron a zonas dentro de los 5 km de distancia con respecto a zonas existentes influenciadas por la marea, es decir, zonas costeras.

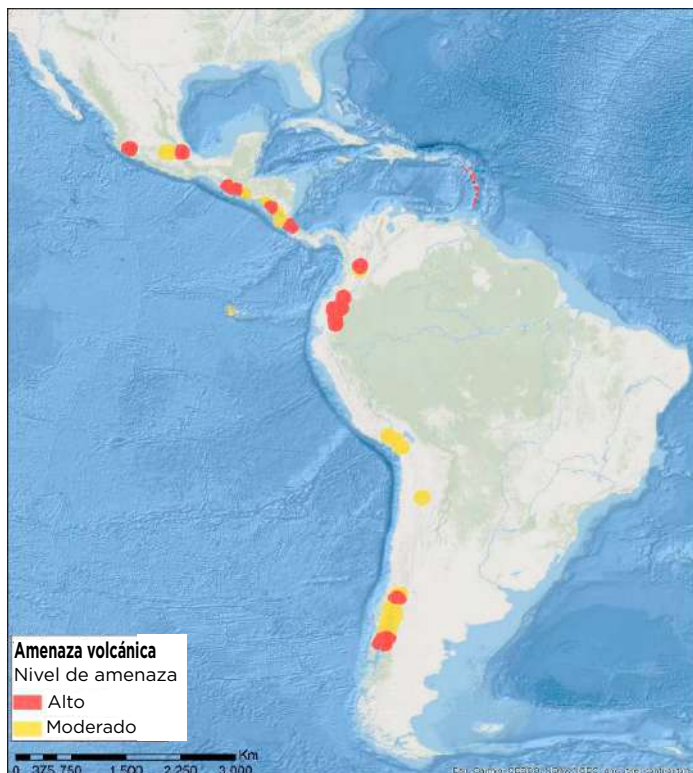
Esta capa fue creada a partir de un conjunto de datos globales de puntos a los que se les agregó un buffer para crear una zona tierra adentro a una distancia aproximada de 5 km de la costa, que permite a los usuarios identificar zonas que pueden estar sujetas a aumento de altura de penetración de agua por tsunami. Los datos corresponden a resultados del modelo de amenaza por tsunami probabilista desarrollado para la evaluación de riesgo global del Global Assessment Report on Risk Reduction 2015 (GAR 15) de UNISDR. Este modelo de amenaza recurre a datos históricos y modelado predictivo para obtener un conjunto de eventos

simulados estocásticamente que representa un conjunto exhaustivo de todos los eventos que podrían ocurrir en algún momento; este conjunto no solo representa los comportamientos pasados, sino que incluye además eventos extremos que no necesariamente han ocurrido y que aún pueden ocurrir. Este modelo fue creado por el Instituto Geotécnico Noruego y Geoscience Australia, (NGI y GA, 2014). Para conocer más detalles, véase Cardona y otros (2015), y Lovholt y otros (2014).

Fuente de información: UNISDR (Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de las Naciones Unidas). (s.f.). GAR Atlas: Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction - Risk Data Platform. Tsunami Hazard (Run up) RP 475 years [shapefile geospatial data Tsunami_hazard_results_g1545]. Tsunami Hazard. Creado por el Banco Interamericano de Desarrollo mediante el procesamiento del conjunto de datos original. Descargado de <https://risk.preventionweb.net/capraviewer/download.jsp?tab=9&mapcenter=0,1123252.6982849&mapzoom=2>

Limitaciones: Si bien estos datos no son únicamente históricos ya que incluyen modelado predictivo, no se los debe considerar predictivos acerca de dónde se experimentarán o presentarán amenazas en el futuro. Además, la escala de los datos brindados por PNUMA puede no capturar las condiciones locales de los futuros fenómenos de tsunami y es por ello que no deben utilizarse para representar zonas afectadas por fenómenos futuros. Los datos se ofrecen con el objetivo de proporcionar tendencias generales sobre esta amenaza, únicamente para orientar consideraciones más localizadas relacionadas con procesos de toma de decisiones.

Mapa AC.19: Amenaza volcánica



Esta capa muestra el mapa de la amenaza volcánica (el índice del mapa es el Índice de Amenaza Volcánica o VHI, por sus siglas en inglés). Los valores de VHI iguales a 0 o 1 se consideran nivel de amenaza “Bajo”, los valores iguales a 2 se consideran nivel de amenaza “Moderado” y los valores iguales a 3 se consideran nivel de amenaza “Alto”.

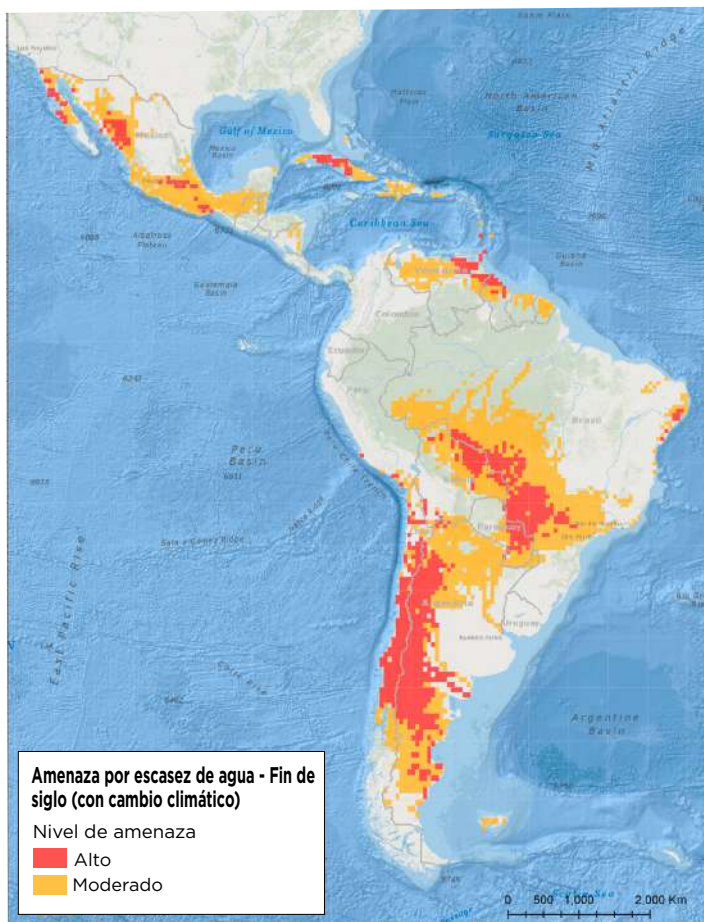
Esta capa fue creada con base en un conjunto de datos globales que contiene una cobertura de puntos que representan volcanes con actividad histórica. A la cobertura de puntos se le incorporó un buffer de 100 km en todas las direcciones para permitir a los usuarios identificar zonas que pueden estar sujetas a actividad volcánica. En los casos en que se superpusieron dos buffers de puntos con diferente clasificación, se tomó la capa mayor. Los datos utilizados para esta capa corresponden al Índice de Amenaza Volcánica (VHI) proporcionado a UNISDR por The International Association of Volcanology and Chemistry of the Earth's Interior (IAVCEI). Este es el primer trabajo de su tipo en cobertura global y nivel de aporte por parte de una amplia red de expertos e instituciones de todo el mundo.

Fuente de información: UNISDR (Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de las Naciones Unidas). (s.f.). GAR Atlas: Global Assessment Report on Disaster

Risk Reduction - Risk Data Platform. Location of active and inactive volcanoes [shapefile geospatial data Volcano_g1546]. Volcanic Hazard. Creado por el Banco Interamericano de Desarrollo mediante el procesamiento del conjunto de datos original. Descargado de <https://risk.preventionweb.net/capraviewer/download.jsp?tab=9&mapcenter=0,1123252.6982849&mapzoom=2>

Limitaciones: Los datos utilizados para crear esta métrica son históricos y, por naturaleza, no son predictivos acerca de dónde se experimentarán o presentarán las amenazas en el futuro. Además, la escala de los datos brindados por UNISDR puede no capturar las condiciones locales de los futuros fenómenos volcánicos y es por ello que no deben utilizarse para representar zonas afectadas por fenómenos futuros. Los datos se ofrecen con el objetivo de proporcionar tendencias generales sobre la probabilidad de ocurrencia de esta amenaza, únicamente para orientar consideraciones más localizadas relacionadas con procesos de toma de decisiones.

Mapa AC.20: Amenaza por escasez de agua - Fin de siglo (con cambio climático)



Esta capa muestra la amenaza por escasez de agua para fin de siglo. El modelo detrás de este mapa considera variaciones a causa del cambio climático.

Esta capa muestra el cambio en la amenaza por escasez de agua para fin de siglo, considerando el cambio climático (porcentaje de cambio en las precipitaciones en el futuro con respecto a 1980-2010). Los cambios porcentuales entre -100% y -20% se consideran amenaza de nivel "Alto", los cambios porcentuales entre -20% y -10% se consideran amenaza de nivel "Moderado" y los cambios porcentuales superiores a -10% se consideran amenaza de nivel "Bajo".

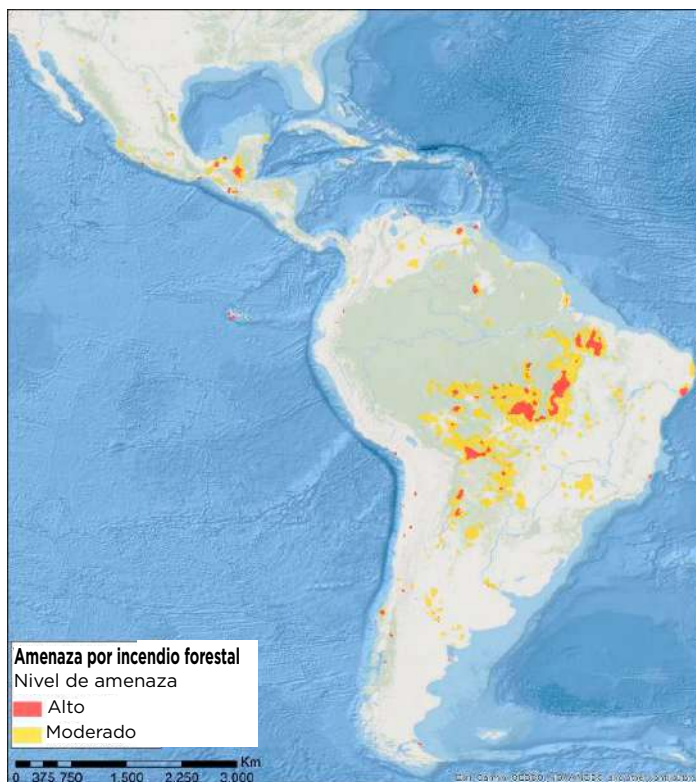
Esta capa con resolución aproximada de 55 km considera los impactos del cambio climático sobre el suministro de agua y fue creada estimando el cambio futuro (positivo, negativo o nulo) en las cantidades de precipitaciones asociadas a un calentamiento promedio de 2°C, según lo explica Schewe y otros (2014). Se utilizaron datos sobre precipitaciones mensuales tomados de 10 modelos de impacto globales (MIG) y 5 modelos climáticos

globales (MCG) del archivo de datos Fast Track del Inter-Sectoral Impact Model Intercomparison Project (ISIMIP) para estimar el cambio porcentual en precipitaciones en condiciones climáticas futuras con respecto a las precipitaciones en condiciones históricas (1980-2010). La escasez de agua se presenta en términos de cambio medio en las precipitaciones del ensamblaje de modelos entre las condiciones históricas y futuras en todas las combinaciones de MIG-MCG.

Fuente de información: ISIMIP (Inter-Sectoral Impact Model Intercomparison Project). (2017). Archivo de datos Fast Track. Water Supply Scarcity Hazard - End of the Century (with Climate Change). Creado por el Banco Interamericano de Desarrollo mediante el procesamiento del conjunto de datos original. Descargado de <https://esg.pik-potsdam.de/search/isimip-ft/>

Limitaciones: Los datos utilizados para crear esta métrica proceden de modelos y datos pronosticados y pueden no ser predictivos acerca de dónde se experimentarán o presentarán las amenazas en el futuro. Además, la escala de los datos brindados por ISIMIP (resolución aprox. de 55 km) puede no capturar las condiciones locales de los futuros impactos por escasez de agua y es por ello que los datos no deben utilizarse para representar zonas afectadas por fenómenos futuros. Los datos se ofrecen con el objetivo de proporcionar tendencias generales sobre la probabilidad de ocurrencia de esta amenaza, únicamente para orientar consideraciones más localizadas relacionadas con procesos de toma de decisiones.

Mapa AC.21: Amenaza por incendio forestal



Esta capa muestra la amenaza por incendio. El modelo detrás de este mapa no considera las variaciones a causa del cambio climático (es decir, asume que no habrá un cambio significativo, con el transcurso del tiempo, en el modo en que la amenaza se ha presentado históricamente).

Esta capa muestra el mapa de la amenaza por incendio (el índice del mapa es el número promedio esperado de fenómenos de incendio por 0,1 grado decimal de píxel, por año, multiplicado por 100, es decir, un valor de 64 significa 0,64 fenómenos por año). Los valores del índice inferiores a 50 se consideran amenaza de nivel “Bajo”, los valores del índice entre 50 y 75 se consideran amenaza de nivel “Moderado” y los valores del índice superiores a 75 se consideran amenaza de nivel “Alto”.

Esta capa se creó con base en un conjunto de datos globales almacenados en malla con una resolución de 10 km que permite al usuario identificar zonas que pueden estar sujetas a incendios con base en datos históricos. Los datos corresponden a los resultados de la evaluación de la amenaza por incendio desarrollada para la evaluación de riesgo global del Global Assessment Report on Risk Reduction 2009 (GAR 09) de UNISDR. Se basa en un conjunto de datos que estima un promedio de densidad

de incendios durante el periodo 1997-2010. Se basa en el producto del algoritmo 1 modificado del conjunto de datos del World Fire Atlas (WFA, ESA-ESRIN). PNUMA/GRID-Europa recopiló los datos mensuales y procesó la densidad de incendios global.

Fuente de información: PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente) y UNISDR (Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres). (2014). Global Risk Data Platform. Fires - Density [raster geospatial data fi_average_tiff]. Wildfire Hazard. Creado por el Banco Interamericano de Desarrollo mediante el procesamiento del conjunto de datos original. Descargado de <https://preview.grid.unep.ch/index.php?preview=data&events=fires&evcat=3&lang=eng>

Limitaciones: Los datos utilizados para crear esta métrica son históricos y, por naturaleza, no son predictivos acerca de dónde se experimentarán o presentarán las amenazas en el futuro. Además, la escala de los datos brindados por PNUMA puede no capturar las condiciones locales de los futuros fenómenos de incendio y es por ello que no deben utilizarse para representar zonas afectadas por fenómenos futuros. Los datos se ofrecen con el objetivo de proporcionar tendencias generales sobre esta amenaza, únicamente para orientar consideraciones más localizadas relacionadas con procesos de toma de decisiones.

Cómo leer e interpretar las capas de cambio climático

Algunas de las amenazas hidrometeorológicas presentan dos (o más) capas que representan la amenaza con el efecto del cambio climático y sin él. Otras amenazas presentan una sola capa que representa el efecto del cambio climático. La mayoría de estas capas presentan proyecciones con base en el RCP 8.5 (escenario pesimista) para fin de siglo (año 2100); esto es para asegurarse de que la “señal” del cambio climático sea captada (los escenarios optimistas y de más corto plazo pueden no captar la señal de cambio, que es lo único que se necesita para efectos de screening, dado que no se trata de una evaluación detallada a utilizar directamente en el diseño del proyecto). A continuación describiremos cada uno de estos casos.

Aumento del nivel del mar

Debido a que esta amenaza existe únicamente debido al cambio climático, esta capa es independiente, es decir, no tiene una capa estacionaria asociada para representar la amenaza sin el efecto del cambio climático. Por lo tanto, esta capa debe leerse sola para determinar si el aumento del nivel del mar debido al cambio climático es un problema.

Cambios en las precipitaciones

Si bien las precipitaciones no son una amenaza por sí mismas, son una variable climática de interés que puede utilizarse para inferir amenazas como la inundación urbana. Las precipitaciones son una de las variables que resultan más difíciles de predecir con confianza para los MCG, por lo que las predicciones suelen estar sujetas a altos niveles de incertidumbre. Para manejar esto, se recomienda consultar múltiples MCG (esto se denomina utilizar un ensamblaje multimodelo) y solo se consideran robustas aquellas tendencias que son consistentes en la mayoría de los modelos. Por lo tanto, hemos incluido las proyecciones de 5 MCG diferentes (consulta la página de detalles de cada capa para obtener información sobre los nombres y orígenes de estos modelos). Estos modelos deben leerse todos juntos y se debe determinar si la mayoría (3 o más) muestra la misma tendencia para la zona del proyecto. En caso afirmativo, entonces puedes concluir que existe un problema relacionado con las precipitaciones

que debe abordarse, de lo contrario no se puede arribar a ninguna conclusión con confianza.

Amenaza de inundación por desbordamiento de ríos

Esta amenaza tiene dos capas asociadas que deben leerse juntas. La primera es una capa estacionaria donde la amenaza se modeló sin considerar los efectos del cambio climático. La segunda capa muestra el resultado de incluir los efectos del cambio climático en el modelado de la amenaza. Las dos capas deben leerse juntas para evaluar, en primer lugar, los niveles de amenaza sin el cambio climático y, en segundo lugar, cómo estos niveles de amenaza cambian hacia fin de siglo.

Amenaza por ola de calor

Esta amenaza tiene tres capas asociadas que deben leerse juntas. La primera es una capa estacionaria donde la amenaza se modeló sin considerar los efectos del cambio climático. Las otras dos capas muestran el resultado de incluir los efectos del cambio climático en el modelado de la amenaza y muestran el efecto del cambio climático con base en el RCP 4.5 (escenario optimista) y 8.5 (escenario pesimista), respectivamente. El escenario 4.5 se incluye solo para ofrecer otra perspectiva más optimista. Las tres capas deben leerse juntas para evaluar, en primer lugar, los niveles de la amenaza sin cambio climático y, en segundo lugar, cómo estos niveles de amenaza cambian para fin de siglo bajo el RCP 4.5 y el RCP 8.5 (todas las capas utilizan los mismos datos y modelado, por lo que son directamente comparables).

Amenaza por sequía

Esta amenaza tiene dos capas asociadas que deben leerse juntas. La primera es una capa estacionaria donde la amenaza se modeló sin considerar los efectos del cambio climático. La segunda capa muestra el resultado de incluir los efectos del cambio climático en el modelado de la amenaza. Las dos capas deben leerse juntas para evaluar, en primer lugar, los niveles de la amenaza sin el cambio climático y, en segundo lugar, cuál es la magnitud del cambio esperado (en este caso, aumento) en la amenaza por sequía para fin de siglo una vez incorporado el cambio climático.

Apéndice D: Software para la modelación de amenazas



Tabla AD.1: Modelos de inundación costera

Programa	Desarrollado por	Disponible en	¿Dominio público?	Descripción
Modelos de hidrodinámica de inundación/marea				
DELFT3D FM	Deltares	Rotterdamseweg 185,2629 HD, Delft, The Netherlands XP PO Box: P.O. Box 177, 2600 MH Delft, The Netherlands	No	Este modelo es la generación siguiente al módulo de simulaciones hidrodinámicas DELFT3D en mallas no estructuradas en 1D-2D-3D. DELFT3D FM simula mareas de tormenta, huracanes, tsunamis, flujos y niveles de agua detallados, olas, transporte y morfología de sedimentos y ecología, y calidad del agua. Tipo: Componente del modelo Delft3D.
Dynamic Behavior of Tidal Flow at InNLETS (DYNLET)	Cuerpo de ingenieros del ejército de EE.UU (USACE).	Laboratorio de Costas e Hidráulica, Centro de Investigaciones y Desarrollo de Ingeniería	Sí	Este programa es un modelo unidimensional del comportamiento dinámico del flujo de mareas en entradas. Puede utilizarse para predecir velocidades con dominio de mareas y fluctuaciones en los niveles de agua en una entrada de marea y en un sistema interior detrás de la bahía. DYNLET resuelve las ecuaciones unidimensionales completas de aguas someras utilizando una solución de diferencias finitas implícita. Tipo: Modelo.
FEMA Surge (1988)	Tetra Tech, Inc.; Engineering Methods & Applications; Greenhorne & O'Mara; Camp, Dresser & McKee, Inc.	Federal Emergency Management Agency (FEMA)	Sí	Este modelo incorpora el modelo NWS-23 modificado para huracanes y el método de probabilidades conjuntas y simula mareas causadas por huracanes. Se supone que es más preciso para niveles de agua que para corrientes de agua e incluye características no estándar como islas barrera, vías y canales. Tipo: Modelo.
MOHID	MARETEC (Instituto Técnico Superior de la Universidad de Lisboa)	Departamento de Engenharia Mecânica / Departamento de Engenharia Mecânica	Freeware	MOHID es un sistema de modelado de agua tridimensional que permite simular procesos (físicos y biogeoquímicos) en diferentes sistemas (estuarios y cuencas) y escalas (que permite el uso de modelos anidados). Algunos procesos pueden acoplarse con procesos atmosféricos. Tipo: Modelo.

Programa	Desarrollado por	Disponible en	¿Dominio público?	Descripción
SOBEK	Deltares	Deltares	No	SOBEK es un paquete de programas de modelado para pronóstico de inundación 1D/2D, optimización de sistemas de drenaje, control de sistemas de riego, diseño de desagües de alcantarillado, morfología fluvial, intrusión de sal y calidad del agua superficial. SOBEK-River es la línea de productos diseñada para sistemas fluviales y estuarios. Tipo: Modelo.
TABS RMA2 v. 4.3 y superiores (oct. 1996)	Cuerpo de ingenieros del ejército de EE.UU. (USACE)	Centro de Investigaciones sobre Ingeniería Costera, Waterways Experiment Station, Cuerpo de Ingenieros del Ejército de EE.UU.	Sí	TABS RMA2 v 4.3 es un modelo de flujo estable/variable bidimensional que simula niveles y velocidades de agua. El modelo computa soluciones de elementos finitos de la forma Reynolds de las ecuaciones de Navier-Stokes para flujos turbulentos. Tipo: Modelo.
Modelos de altura de olas costeras				
BOUSS-2D	Aquaveo, LLC	Aquaveo	No	BOUSS-2D se usa para simular la propagación y transformación de olas en regiones costeras y puertos en regiones pequeñas (generalmente 1-5 km). El programa modela de forma eficaz fenómenos de la zona costera y puertos, que incluyen: asomeramiento, refracción, difracción, reflexión y transmisión completa/parcial, fricción de fondo, interacciones ola-ola no lineales, rompimiento de ola y altura máxima de penetración, corrientes inducidas por el oleaje e interacción de corrientes de olas. Tipo: Modelo; utilizado con el software del sistema de modelado de agua superficial (SMS) para renders en 3-D.
CHAMP 2.0 (April 2007)	Dewberry & Davis LLC	Federal Emergency Management Agency (FEMA)	Sí	Coastal Hazard Analysis Modeling Program (CHAMP) es un programa basado en Windows utilizado para análisis de erosión y altura de ola (WHAFIS 4.0 y RUNUP 2.0) y ofrece tablas resumidas y gráficos para mapeo. La versión 2.0 ofrece la posibilidad de calcular envolventes de ola de probabilidad anual del 1%-0,2 % e incluye mejoras a los módulos de erosión y altura máxima de penetración. Tipo: Modelo.
FUNWAVE-TVD	Fengyan Shi, James T. Kirby y Babak Tehranirad, Jeffrey C. Harris	Fengyan Shi	Freeware	FUNWAVE-TVD es una versión mejorada del modelo de ola totalmente no lineal Boussinesq (FUNWAVE) inicialmente desarrollado por Kirby y otros (1998). Este modelo simula olas superficiales cercanas a la costa, corrientes y tsunamis a escalas que van desde la cuenca oceánica hasta cerca de la costa. Tipo: Modelo.

Programa	Desarrollado por	Disponible en	¿Dominio público?	Descripción
RCPWAVE -1986	Cuerpo de ingenieros del ejército de EE.UU. (USACE)	Centro de Investigaciones de Ingeniería Costera, Waterways Experiment Station, Cuerpo de Ingenieros del Ejército de EE.UU.	Sí	<p>Regional Coastal Processes (RCP) WAVE es un modelo de oleaje de procesos costeros regionales que simula la propagación de ola sobre batimetría especificada. El modelo trata olas lineales monocromáticas que se propagan sobre una malla y ofrece batimetría costera y alturas de ola cercanas a la costa pertinentes para un espaciado adecuado entre transectas o para magnitudes de aumento del nivel medio del mar por rompimiento de olas.</p> <p>Tipo: Modelo.</p>
REF/DIF	UDEL/Jim Kirby	Universidad de Delaware, Center for Applied Coastal Research	Freeware	<p>REF/DIF es un modelo de refracción-difracción parabólica de resolución de fases de propagación de olas oceánicas superficiales. El modelo puede simular los efectos de asomeramiento, refracción, difracción y disipación de energía e ignora la reflexión del oleaje y la interacción ola-ola. Los resultados precisos se limitan a olas que se propagan sobre una pendiente de fondo suave dentro de los 45° de la dirección media de olas.</p> <p>Tipo: Modelo.</p>
Simulating Waves Nearshore (SWAN), Cycle III Version 40.51	El equipo SWAN	Source Forge	Freeware	<p>SWAN un modelo de oleaje de aguas someras de tercera generación totalmente espectral (en todas las direcciones y frecuencias) basado en la ecuación de balance de acción del oleaje con fuentes y sumideros. Este modelo se utiliza para obtener estimaciones de parámetros de olas en zonas costeras, lagos y estuarios a partir de condiciones de viento, fondo y corrientes.</p> <p>Tipo: Modelo.</p>
STWAVE	Cuerpo de ingenieros del ejército de EE.UU. (USACE)	Aquaveo	No	<p>STWAVE es un modelo espectral de diferencias finitas de estado uniforme basado en la ecuación de balance de acción de olas. Se trata de un modelo flexible y robusto de propagación y crecimiento de olas de viento. STWAVE simula la refracción y el someramiento de olas inducido por la profundidad, la refracción y el someramiento inducido por corrientes, el rompimiento de olas inducido por la profundidad y la pendiente, difracción, crecimiento de ola por acción del viento y la interacción ola-ola.</p> <p>Tipo: Modelo; utilizado con el software del sistema de modelado de agua superficial (SMS) para renders en 3-D.</p>
Wave Watch 3 (WW3)	NOAA/NWS/NCEP	National Oceanic and Atmospheric Administration, Environmental Modeling Center	Freeware	<p>WW3 es un modelo de oleaje que simula los campos de ola utilizando los espectros direccionales de número de ola.</p> <p>Tipo: Modelo.</p>

Programa	Desarrollado por	Disponible en	¿Dominio público?	Descripción
WHAFIS 3.0 (1988) and 4.0 (2007)	Dames & Moore, revisado por Greenhorne & O'Mara, revisado por Watershed Concepts	Federal Emergency Management Agency (FEMA)	Sí	Wave Height Analysis for Flood Insurance Studies (WHAFIS) 4.0 es un modelo desarrollado para predecir alturas de ola asociadas con mareas de tormenta de huracán. El modelo tiene un tratamiento de ola idéntico a WHAFIS 3.0. WHAFIS 3.0 define alturas de ola asociadas a la inundación del periodo de retorno de 100 años en zonas costeras y utiliza un moderno tratamiento de la acción de las olas; incorpora las recomendaciones de 1977 NAS sobre aproximaciones básicas para velocidades de viento, criterios de rompimiento de olas y control de altura de olas. Tipo: Modelo.
Modelo de efectos de olas costeras				
ACES 1.07 (1992)	Cuerpo de ingenieros del ejército de EE.UU. (USCAE)	Centro de Investigación de Ingeniería Costera, Waterways Experiment Station, Cuerpo de Ingenieros del Ejército de EE.UU.	Sí	Automated Coastal Engineering System (ACES) realiza un análisis de altura extrema de olas y se utiliza para calcular altura máxima de penetración y desbordamiento contra estructuras verticales y en pendiente o rompeolas. Tipo: Modelo con 7 aplicaciones categóricas.
BOUSS-2D	Aquaveo, LLC	Aquaveo	No	BOUSS-2D se usa para simular la propagación y transformación de olas en regiones costeras y puertos en regiones pequeñas (generalmente 1-5 km). El programa modela de forma eficaz fenómenos de la zona costera y puertos incluyendo: asomeramiento, refracción, difracción, reflexión y transmisión completa/parcial, fricción de fondo, interacciones ola-ola no lineales, rompimiento de ola y altura máxima de penetración, corrientes inducidas por el oleaje e interacción de corrientes de olas. Tipo: Modelo; utilizado con el software del sistema de modelado de agua superficial (SMS) para renders en 3-D.
CHAMP 2.0 (April 2007)	Dewberry & Davis LLC	Federal Emergency Management Agency (FEMA)		Coastal Hazard Analysis Modeling Program (CHAMP) es un programa basado en Windows utilizado para análisis de erosión y altura de ola (WHAFIS 4.0 y RUNUP 2.0) y ofrece tablas resumidas y gráficos para mapeo. La versión 2.0 ofrece la posibilidad de calcular envoltentes de ola de probabilidad anual del 1% y 0,2 % e incluye mejoras a los módulos de erosión y altura máxima de penetración. Tipo: Modelo.
FUNWAVE-TVD	Fengyan Shi, James T. Kirby y Babak Tehranirad, Jeffrey C. Harris	Fengyan Shi	Freeware	FUNWAVE-TVD es una versión mejorada del modelo de ola totalmente no lineal Boussinesq (FUNWAVE) inicialmente desarrollado por Kirby y otros (1998). Este modelo simula olas superficiales cercanas a la costa, corrientes y tsunamis a escalas que van desde la cuenca oceánica hasta cerca de la costa. Tipo: Modelo.

Programa	Desarrollado por	Disponible en	¿Dominio público?	Descripción
IH-2VOF	IH Cantabria	IH Cantabria	No	IH2VOF modela la dinámica del oleaje en la zona de rompientes y contra estructuras costeras convencionales y no convencionales. Tipo: Modelo.
REF/DIF	UDEL/Jim Kirby	Universidad de Delaware, Center for Applied Coastal Research	Freeware	REF/DIF es un modelo de refracción-difracción parabólica de resolución de fases de propagación de olas oceánicas superficiales. El modelo puede simular los efectos de asomeramiento, refracción, difracción y disipación de energía e ignora la reflexión del oleaje y la interacción ola-ola. Los resultados precisos se limitan a olas que se propagan sobre una pendiente de fondo suave dentro de los 45° de la dirección media de olas. Tipo: Modelo.
RUNUP 2.0 (1990)	Stone & Webster Engineering Corp., revisado por Dewberry	Consulta la nota al pie para ver información de contacto correspondiente a tu Región FEMA 3.	Sí	RUNUP 2.0 computa la altura máxima media de penetración de olas para ocho configuraciones básicas de costa según la guía de 1978 de USACE que define la altura máxima de penetración de olas en barrera costera con enfoque y condiciones de tormenta específicos. Tipo: Modelo.
STWAVE	Cuerpo de ingenieros del ejército de EE.UU. (USACE)	Aquaveo	No	STWAVE es un modelo espectral de diferencias finitas de estado uniforme basado en la ecuación de balance de acción de olas. Se trata de un modelo flexible y robusto de propagación y crecimiento de olas de viento. STWAVE simula la refracción y el someramiento de olas inducido por la profundidad, la refracción y el someramiento inducido por corrientes, el rompimiento de olas inducido por la profundidad y la pendiente, difracción, crecimiento de ola por acción del viento y la interacción ola-ola. Tipo: Modelo; utilizado con el software del sistema de modelado de agua superficial (SMS) para renders en 3-D.
Modelos de hidrodinámica de inundación/marea con modelos de alturas de oleaje costero				
Advanced Circulation Model (ADCIRC) 2DDI - 2003	Johannes Westerink, Universidad de Notre Dame, y Rick Luettich, Universidad de North Carolina en Chapel Hill, Institute of Marine Sciences del Laboratorio Costero y de Hidráulica de USACE.	Nick Krauss (Coastal and Hydraulics Laboratory) También puede comprarse a vendedores de software como un componente de SWM.	Disponible para estudios de seguros contra inundaciones solamente.	ADCIRC es un modelo hidrodinámico de 2-D de elementos finitos que realiza análisis de mareas de tormenta mediante simulaciones de corto y largo plazo de elevaciones y velocidades de marea y de marea de tormenta en sistemas oceánicos profundos, de plataforma continental, mares costeros y estuarios de pequeña escala. Tipo: Modelo.

Programa	Desarrollado por	Disponible en	¿Dominio público?	Descripción
DELFT3D	Deltares	Rotterdamseweg 185,2629 HD, Delft, The Netherlands PO Box: P.O. Box 177, 2600 MH Delft, The Netherlands	Freeware	<p>Programa de simulación hidrodinámica (y de transporte) multidimensional (2D o 3D) que calcula el flujo variable y los fenómenos de transporte ocasionados por forzamiento de mareas y meteorológico sobre una malla curvilínea ajustada a las fronteras o cooredadas esféricas. Incluye forzamiento por tensión de viento, frozamiento de Coriolis, potencial de mareas, tipos múltiple frontera y tiene la capacida de acoplarse dinámicamente con Delft3D-Wave para la interacción ola-corriente. Para la propagación de ola, el paquete Delft3D utiliza el modelo SWAN.</p> <p>Tipo: Modelo.</p>
EFDC	CEAM (Center for Exposure Assessment Modeling) de EPA (Agencia de protección ambiental de EE.UU.)	U.S. Environmental Protection Agency Center for Exposure Assessment Modeling (CEAM)	Freeware	<p>Environmental Fluid Dynamics Code (EFDC) es un sistema de modelado de agua superficial multifuncional que incluye componentes de hidrodinámicos, de sedimentos contaminantes y de eutroficación. El modelo simula el transporte de agua y de constituyentes de la calidad del agua en cuerpos de agua como ríos, estuarios estratificados y mares costeros.</p> <p>Tipo: Modelo.</p>
MIKE 21 (HD/NHD) 2009 SP4	DHI Water and Environment	DHI, Inc. Agern Allé 5, Hørsholm 2970 Denmark +45 45169333 Telephone +45 45169292 Fax	No	<p>MIKE 21 (HD/NHD) resuelve las ecuaciones de continuidad y conservación de momento no lineales en profundidad promedio en un modelo dinámico de volumen finito bidimensional de crecimiento y transformación cercana a la costa de olas de viento. Conputa las corrientes generadas por el oleaje y el ascenso del oleaje. El modelo incluye una formulación totalmente espectral y una formulación paramétrica no acoplada direccional, incluye interacción oleaje-corriente, así como los efectos cercanos a la costa de refracción, asomeramiento, rompimiento, fricción del lecho y crecimiento de ola de viento.</p> <p>Tipo: Modelo componente del software MIKE 21.</p>
MIKE 21 FM HD 2014 SP3	DHI Water and Environment	DHI, Inc. Agern Allé 5, Hørsholm 2970 Denmark +45 45169333 Telephone +45 45169292 Fax	No	<p>El programa modela hidrodinámica, olas, dinámica de sedimentos, calidad del agua y ecología en zonas costeras o marinas. MIKE 21 FM HD es el complemento no estructurado de la versión de diferencia finita rectangular del modelo MIKE 21 HD model. El modelo utiliza un algoritmo de inundación y desecación avanzado para flujo superficial e incluye forzamiento por tensión de viento, forzamiento de Coriolis, potencial de mareas y múltiples tipos de fronteras.</p> <p>Tipo: Modelo componente del software MIKE 21.</p>

Programa	Desarrollado por	Disponible en	¿Dominio público?	Descripción
TELEMAC	TELEMAC-MASCARET Consortium	Open Telemac	Freeware	TELEMAC-MASCARET es un paquete integrado de programas de resolución de aplicación en el campo de flujo libre superficial, que incluye un software dedicado para simulación de propagación de olas hacia la costa o puertos, sobre un dominio geográfico de unos pocos km cuadrados. Tipo: Software con múltiples simulaciones de modelos.
XBEACH	Deltares	Deltares; University of Miami; UNESCO-IHE	Sí	XBEACH es un modelo bidimensional de propagación de olas, ondas largas y flujo medio, transporte de sedimentos y cambios morfológicos de la zona cercana a la costa, playas, dunas y retrobarrera durante tormentas. El modelo incluye los procesos hidrodinámicos de transformación de onda corta (refracción, someramiento y rompimiento), transformación de onda larga (onda infra-gravitacional), ascenso inducido por olas y corrientes variables. Tipo: Modelo.

Tabla AD.2 Modelos de sequía

Programa	Desarrollado por	Disponible en	¿Dominio público?	Descripción
Standardized Precipitation Index (SPI)	National Centers for Environmental Prediction (NCEP)	National Drought Mitigation Center, University of Nebraska	Sí	Herramienta para calcular el índice estandarizado de precipitación utilizado para definir y monitorear sequías. Determina la rareza de una sequía en una escala de tiempo determinada para cualquier estación pluviométrica. Tipo: Herramienta.
RMS Drought Stress Testing Tool	Global Canopy	Global Canopy	Freeware	La herramienta permite a las instituciones financieras ver cómo al incorporar escenarios de sequía cambia la percepción de riesgo en sus propios portafolios de préstamos. Con base en el marco de modelado de catástrofes utilizado por la industria de seguros durante 25 años, aborda cinco escenarios de sequía en cuatro países (Brasil, China, México y EE.UU.) para modelar el impacto en 19 sectores diferentes de la industria, las compañías en esos sectores y la probabilidad de que no cumplan sus obligaciones de pago derivadas de sus préstamos. Tipo: Herramienta.





Tabla AD.3: Modelos de terremoto

Programa	Desarrollado por	Disponible en	¿Dominio público?	Descripción
3D Focal Mechanisms	U.S Geological Survey (USGS)	U.S. Geological Survey - Western Earthquake Hazards Program	Sí	Herramienta dentro de ArcScene que presenta visualmente mecanismos focales de terremotos, profundidad y magnitud de terremotos. Tipo: Herramienta con ArcScene.
CAPRA-GIS	Central American Probabilistic Risk Assessment Platform (CAPRA)	Central American Probabilistic Risk Assessment Platform (CAPRA)	Sí	Herramienta basada en un sistema de información geográfica (SIG) que utiliza un enfoque probabilista para generar distribuciones de riesgo de desastres e impactos con base en la vulnerabilidad y la exposición a diversas amenazas. Tipo: Herramienta.
CRISIS 2007	Universidad Nacional de México (UNAM)	Central American Probabilistic Risk Assessment Platform (CAPRA)	Sí	Modelo de amenaza sísmica y por tsunami utilizado para realizar evaluaciones probabilistas de amenazas y para el cálculo de escenarios estocásticos de evaluaciones de riesgo. Tipo: Modelo.
Grazier-Kalkan (2015) Ground-Motion Prediction Equation	U.S Geological Survey (USGS)	U.S. Geological Survey - Western Earthquake Hazards Program	Sí	Modelo que predice la aceleración máxima del suelo y espectros de aceleración con 5% de amortiguamiento para análisis probabilistas y deterministas de la amenaza sísmica. Tipo: Modelo.
Ground Motion Prediction Equations (GMPE)	Global Earthquake Model (GEM)	OpenQuake - Global Earthquake Model	Freeware	Kit de herramientas basado en python y OpenQuake para análisis de movimientos fuertes e interpretaciones de ecuaciones de predicción de movimiento de la tierra. Tipo: Kit de herramientas.
Calculador de la curva de la amenaza.	Open Seismic Hazard Analysis (OpenSHA)	OpenSHA and the University of Southern California	Freeware	Herramienta que computa y grafica curvas de amenazas para un tipo de medida de intensidad (IMT, por sus siglas en inglés), una relación de medida de intensidad (IMR), un pronóstico de ruptura de terremoto y un lugar especificados. Tipo: Herramienta.
Hazard Modeller's Toolkit	Global Earthquake Model (GEM)	OpenQuake - Global Earthquake Model	Sí	Un paquete de herramientas para crear modelos de datos de entrada de análisis probabilistas de amenaza sísmica. Tipo: Paquete de herramientas.
HAZUS	Federal Emergency Management Agency (FEMA)	Federal Emergency Management Agency (FEMA)	Sí	Metodología estandarizada que contiene modelos para estimar posibles pérdidas a causa de terremotos, inundaciones y huracanes, que utiliza datos de sistemas de información geográfica (SIG). Hazus se suele utilizar en el proceso de planificación de mitigación y estima los daños físicos, la pérdida económica y los impactos sociales. Tipo: Modelo.

Programa	Desarrollado por	Disponible en	¿Dominio público?	Descripción
Open Seismic Hazard Analysis (OpenSHA)	University of Southern California	OpenSHA and the University of Southern California	Freeware	Plataforma basada en java de código abierto para desarrollar modelos de análisis de amenaza sísmica. Los siguientes modelos fueron desarrollados en OpenSHA. Tipo: Modelo.
Risk Modeler's Toolkit	Global Earthquake Model (GEM)	OpenQuake - Global Earthquake Model	Freeware	Un paquete de herramientas para crear modelos de datos de entrada de exposición, fragilidad y vulnerabilidad. Tipo: Paquete de herramientas.
Risk-Targeted Ground Motion Calculator	U.S Geological Survey (USGS)	U.S. Geological Survey - Western Earthquake Hazards Program	Sí	Una herramienta en línea utilizada para calcular valores de movimiento del suelo focalizados en riesgo. El resultado es el movimiento de tierra enfocado en riesgo correspondiente al 1% de probabilidad de colapso en 50 años. Este valor puede utilizarse para el diseño sísmico de edificios. Tipo: Herramienta en línea.
ShakeMap	U.S Geological Survey (USGS)	U.S. Geological Survey - Western Earthquake Hazards Program	Sí	Programa con mapas de terremotos en tiempo real, históricos y de escenarios que muestra zonas de intensidad de temblor coloreadas según un código cromático, como así también aceleración máxima del suelo, amplitudes de velocidad, etc. El programa permite al usuario generar escenarios hipotéticos y analizar los datos asociados. Tipo: Herramienta.



Tabla AD.4: Modelos de amenaza por ola de calor

Programa	Desarrollado por	Disponible en	¿Dominio público?	Descripción
Artificial Intelligence Fuzzy Logic Model	Institute for Astronomy, Astrophysics, Space Applications and Remote Sensing (IAASARS)	National Observatory of Athens	Sí	Modelo para clasificar las olas de calor de moderadas a extremas considerando su duración, intensidad y momento de ocurrencia. Tipo: Modelo.
Heat Wave Magnitude Index (HWMI) with Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5)	Comisión Europea, Centro de Investigaciones Conjuntas, Ispra, Italia; Instituto de protección e investigaciones ambientales, Roma, Italia.	1) HWMI: Comisión Europea, Centro de Investigaciones Conjuntas, Ispra, Italia; Instituto de protección e investigaciones ambientales, Roma, Italia. 2) CMIP5: World Climate Research Programme	Sí	El Índice de Magnitud de Ola de Calor (HWMI) se basa en el análisis de temperatura máxima diaria para clasificar las olas de calor más fuertes en todo el mundo y puede compararse espacial y temporalmente. Los resultados de la Fase 5 del Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados (CMIP5) se utilizaron para proyectar la futura ocurrencia y severidad de olas de calor. Tipo: Modelo.

Programa	Desarrollado por	Disponible en	¿Dominio público?	Descripción
Heat Wave Risk (HWR) a través de ArcGIS	National Aeronautics and Space Administration (NASA)	National Aeronautics and Space Administration	Sí	El riesgo de ola de calor determinado a partir de datos climatológicos de estaciones meteorológicas, imágenes térmicas de resolución moderada e información demográfica. Tipo: Modelo.
High Resolution Atmospheric Model (HiRAM)	National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL)	National Oceanic and Atmospheric Administration	Sí	HiRAM fue desarrollado con la meta de ofrecer una representación mejorada de fenómenos meteorológicos significativos en un modelo climático global y se la ha utilizado para estudiar olas de calor simuladas futuras e históricas. Tipo: Modelo.
Metodología de ola de calor espacial que utiliza la aplicación EatlasClimMod 1.0.	Universidad Ibn Zohr de Marruecos y programa Vulnerability and Risk Analysis Mapping (VRAM)	1) Metodología: Universidad Ibn Zohn de Agadir, Marruecos 2) EatlasClimMod 1.0: Organización Mundial de la Salud	Sí	Metodología para distribuir espacialmente la amenaza por ola de calor. EatlasClimMod 1.0 es un módulo para calcular diferentes variables climáticas utilizado para distribuir espacialmente numerosas amenazas. Tipo: Modelo.



Tabla AD.5: Modelos de viento huracanado

Programa	Desarrollado por	Disponible en	¿Dominio público?	Descripción
HAZUS	Federal Emergency Management Agency (FEMA)	Federal Emergency Management Agency (FEMA)	Sí	Metodología estandarizada que contiene modelos para estimar posibles pérdidas a causa de terremotos, inundaciones y vientos huracanados y mareas de tormenta, que utiliza datos de sistemas de información geográfica (SIG). Hazus se suele utilizar en el proceso de planificación de mitigación y estima los daños físicos, la pérdida económica y los impactos sociales.
ERN-HURRICANE (ERN-Huracán)	Central American Probabilistic Risk Assessment Platform (CAPRA)	Central American Probabilistic Risk Assessment Platform (CAPRA)	Sí	ERN-Hurricane es un sistema de modelado probabilista de amenaza por huracán desarrollado por ERN-AL. El programa toma como datos de entrada las trayectorias registradas de huracanes históricos y genera trayectorias estocásticas que son consistentes con la trayectoria original. Calcula escenarios de amenaza por vientos fuertes, marea de tormenta y lluvia fuerte.
Inland Wind Decay Model (IWDM)	Mark DeMaria NOAA/NWS/TPC y John Kaplan NOAA/AOML/HRD	National Oceanic and Atmospheric Administration	No	Modelo empírico para predecir la disipación de los vientos huracanados después de tocar tierra. El modelo aplica una ecuación de disipación simple de dos parámetros al campo de viento del huracán para estimar los vientos máximos sostenidos en la superficie. Utilizado para estimar la penetración máxima tierra adentro de los vientos con fuerza de huracán para una intensidad de tormenta y movimiento de tormenta determinadas.



Tabla AD.6: Modelos de deslizamiento de tierra

Programa	Desarrollado por	Disponible en	¿Dominio público?	Descripción
Energy Cone	Universidad de Concepción, Chile	Volcano Hub (VHub)	Freeware	Herramienta para estimar descarga y zona de inundación de deslizamientos de tierra y otros movimientos de masas utilizando modelos de elevación digitales (DEM, por sus siglas en inglés). El resultado es un contorno de cono de energía sobre una imagen de colinas sombreadas. Tipo: Herramienta.
LandLab	University of Colorado, Boulder	Land Lab	Sí	Entorno de modelado basado en python que permite a los usuarios crear modelos de paisaje numéricos para cuantificar la dinámica superficial terrestre. El componente de deslizamiento de tierra de LandLab computa el flujo de los escombros de los deslizamientos de tierra y puede acceder a datos geográficos de ArcGIS. La probabilidad de falla se genera mediante cálculos de factores de seguridad. Tipo: kit de herramientas basado en python.
Landslide Hazard Assessment for Situational Awareness (LHASA)	NASA (National Aeronautics and Space Administration).	NASA (National Aeronautics and Space Administration)	Sí	LHASA considera tanto la susceptibilidad regional como la intensidad y duración de la lluvia mediante la integración de mapas regionales de susceptibilidad a los deslizamientos de tierra y estimaciones de lluvias procedentes de satélites en un modelo binario de árbol de decisión. Tipo: Herramienta para evaluar la probabilidad de deslizamientos de tierra.
Scoops3D/ Scoops3Di (abril 2015)	U.S Geological Survey (USGS)	U.S. Geological Survey, Landslide Hazards Program	Sí	Programa que evalúa la estabilidad de pendientes con base en un modelo de elevación digital (DEM) del paisaje. Los resultados representan una combinación de potenciales fallas de las pendientes menos estables en un paisaje. Los resultados pueden incorporarse a un sistema de información geográfica. Tipo: Scoops3D es un programa de evaluación. Scoops3Di es el componente del programa Scoops3D.
Seismic Landslide Movement Modeled using Earthquake Records (SLAMMER) (noviembre de 2014)	U.S Geological Survey (USGS)	U.S. Geological Survey, Techniques and Methods	Sí	Programa basado en Java que facilita un análisis de bloque de deslizamiento de pendientes para estimar el comportamiento de las pendientes durante terremotos. Tipo: Programa de análisis.
Stability Index Mapping (SINMAP 2.0) (junio 2007)	Utah State University y Terratech Consulting	Utah State University, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental	Freeware	Un complemento de ArcMap utilizado para computar y elaborar mapas del índice de estabilidad de pendientes con base en información geográfica, principalmente datos de elevación digital (DEM). Los parámetros, tales como datos de suelo, vegetación y geológicos, pueden ajustarse y calibrarse para diferentes regiones geográficas. Tipo: Herramienta complemento de ArcMap.

Programa	Desarrollado por	Disponible en	¿Dominio público?	Descripción
Titan2D Hazard Map Emulator Workflow	University of Buffalo, NY	Volcano Hub (VHub)	Freeware	Herramienta que trabaja con titan2D para producir mapas de amenazas que muestran la probabilidad de que la profundidad del flujo alcance una altura crítica. Tipo: Componente de la herramienta Titan2D Mass-Flow Simulation.
Titan2D Mass-Flow Simulation Tool (junio 2016)	University of Buffalo, NY	Volcano Hub (VHub)	Freeware	Modelo que determina el flujo de masa sobre terreno natural, por ej., flujos volcánicos y deslizamientos de escombros, que utiliza datos de un modelo de elevación digital. Diseñado para utilizar con sistemas de información geográfica como ArcGIS y GRASS. Tipo: Kit de herramientas de modelo.
Transient Rainfall Infiltration and Grid-Based Regional Slope-Stability Model (TRIGRS)	U.S Geological Survey (USGS)	U.S. Geological Survey, Landslide Hazards Program	Sí	Programa en Fortran diseñado para modelar los momentos de ocurrencia y distribuciones de deslizamientos de tierra con poca pendiente inducidos por lluvias. Este programa se utiliza junto con software de SIG para preparar mallas iniciales y presentar visualmente los resultados de los modelos. Tipo: Modelo en programa Fortran.



Tabla AD.7: Modelos de inundación por desbordamiento de ríos

Programa	Desarrollado por	Disponible en	¿Dominio público?	Descripción
Fenómeno único				
Gridded Surface Subsurface Hydrologic Analysis (GSSHA) Versión 1.43 y superiores (sept. 2006)	USACE	Centro de Investigación y Desarrollo de Ingeniería del Ejército de EE.UU., Laboratorio Costero y de Hidráulica	Sí	GSSHA es un modelo hidrológico espacialmente explícito con fundamento físico capaz de simular un amplio rango de mecanismos de escorrentías, incluidas las escorrentías por exceso de infiltración y exceso de saturación, derretimiento de nieve, desagües pluviales y drenajes de tubos de arcilla con juntas abiertas, exfiltración y descarga de agua subterránea, lagos (incluidos lagos sin drenaje como pozas en praderas), embalses de control, alcantarillas y vertederos. GSSHA es adecuado en numerosas aplicaciones en cuencas costeras y ha tenido diversas aplicaciones, desde selvas tropicales hasta simulaciones de inundación urbana por mareas de tormenta en Nueva Orleans y Nueva York. Tipo: Modelo basado en el Sistema de Modelado de Cuencas (WMS, por sus siglas en inglés).

Programa	Desarrollado por	Disponible en	¿Dominio público?	Descripción
HEC-1 4.0.1 y superiores ¹ (mayo 1991)	Cuerpo de ingenieros del ejército de EE.UU.	Centro de Soporte Recursos Hídricos Centro de Ingeniería Hidrológica del Cuerpo de Ingenieros (HEC)	Sí	<p>Hydrologic Engineering Center (HEC)-1 es un paquete de hidrogramas que crea hidrogramas de inundación en diferentes ubicaciones a lo largo de cursos de agua. Pruebas de calibración preferidas para determinar parámetros del modelo.</p> <p>Tipo: Software de modelo.</p> <p>¹ La mejora del programa en edición y presentación gráfica puede obtenerse de numerosas compañías privadas.</p>
HEC-HMS 1.1 y superiores (marzo 1998)	Cuerpo de ingenieros del ejército de EE.UU.	Centro de Ingeniería Hidrológica del Cuerpo de Ingenieros del ejército de EE.UU.	Sí	<p>El HEC Hydrologic Modeling System (HMS) simula los procesos hidrológicos completos de los sistemas de cuencas dendríticas. HEC-HMS ofrece una variedad de opciones para simular procesos de precipitación-escorrentía, incluidas capacidades relacionadas con derretimiento de nieve y estanque interior, más opciones de reservorio mejoradas.</p> <p>Tipo: Software de modelo.</p>
MIKE 11 (2009 SP4)	DHI Water and Environment	DHI, Inc.	No	<p>MIKE 11 simula hidrogramas de inundaciones en diferentes ubicaciones a lo largo de cursos de agua utilizando técnicas de hidrogramas unitarios. Hay tres métodos disponibles para calcular pérdidas de infiltración y tres métodos para convertir exceso de lluvia en escorrentía, incluido el método de hidrograma unitario SCS.</p> <p>Tipo: Paquete de modelo.</p> <p>MIKE HYDRO River es el sucesor de MIKE 11. Incluye una interface basada en un mapa para modelar ríos.</p>
FLDWAV	National Weather Service (NWS)	National Weather Service (NWS)		<p>FLDWAV es un programa de laminación de inundación generalizado con capacidad de modelar flujos de inundación a través de un único curso de agua o un sistema de cursos de agua interconectado e incluye las características de DAMBRK y DWOPER más capacidades adicionales. Es un programa de computación para la solución de las ecuaciones totalmente dinámicas de movimiento para flujo unidimensional en canales abiertos y estructuras de control. Formulación conceptual de área inundable no disponible.</p> <p>Tipo: Modelo.</p>
PondPack v.8 (mayo 2002) y superiores	Bentley Systems	Bentley Systems	No	<p>El programa analiza redes de cuencas modelando las lluvias y escorrentías de cuencas urbanas y rurales para ayudar a dimensionar estanques de detención y retención, estructuras de desagüe y canales.</p> <p>Tipo: Modelo.</p>

Programa	Desarrollado por	Disponible en	¿Dominio público?	Descripción
SWMM 5 Versión 5.0.005 (mayo 2005) y superiores	Agencia de Protección Ambiental de EE.UU. (USEPA)	División de Suministro de Agua y Recursos Hídricos de USEPA	Sí	<p>Storm Water Management Model (SWMM) 5 es un modelo de calidad del agua hidrológico-hidráulico dinámico para simulación de un solo evento o simulaciones a largo plazo principalmente para zonas urbanas. El componente de escorrentías funciona en zonas de subcuenca que reciben lluvias y generan escorrentías y cargas de contaminantes. El componente de laminación consiste en tubos, canales, dispositivos de almacenamiento/tratamiento, bombas y reguladores.</p> <p>Tipo: Modelo.</p>
TR-20 Win 1.00 (enero 2005)	Departamento de Agricultura de EE.UU. (USDA), Servicio de Conservación de los Recursos Naturales	Departamento de Agricultura de EE.UU., Servicio de Conservación de los Recursos Naturales	Sí	<p>El modelo de computación TR-20 ha sido revisado y reescrito completamente como un programa basado en Windows. Es un modelo hidrológico de aguas superficiales de eventos de tormenta aplicado a escala de cuenca capaz de generar, laminar y combinar hidrogramas en determinados puntos dentro de una cuenca.</p> <p>Tipo: Modelo.</p>
WinTR-55 1.0.08 (enero 2005)	Departamento de Agricultura de EE.UU., Servicio de Conservación de los Recursos Naturales	Departamento de Agricultura de EE.UU. (USDA), Servicio de Conservación de los Recursos Naturales	Sí	<p>El nuevo WinTR-55 utiliza el programa WinTR-20 como motor impulsor para analizar la hidrología de pequeños sistemas de cuencas.</p> <p>Tipo: Modelo.</p>
XPSTORM 10.0 (mayo de 2006)	XP Solutions	XP Solutions		<p>Xpstorm es un programa que modela flujos y contaminantes de aguas de tormenta y aguas residuales mediante sistemas de ingeniería y sistemas naturales que incluyen ríos, lagos y llanuras de inundación con interacción de agua subterránea. Puede utilizarse simulaciones para evaluar el desempeño de los sistemas de ingeniería.</p> <p>Tipo: Modelo.</p>
XP-SWMM 8.52 y superiores	XP Solutions	XP Solutions	No	<p>XPSWMM tiene la misma capacidad de modelado que XPSTORM y se los suele utilizar juntos; se los llama colectivamente XP. El modelo debe calibrarse según los flujos observados, o el caudal por unidad de superficie debe demostrar ser razonable en comparación con datos obtenidos de instrumentos de medición cercanos, ecuaciones de regresión u otros estándares aceptados para los sucesos con probabilidad de ocurrencia anual del 1%.</p> <p>Tipo: Modelo.</p>

Programa	Desarrollado por	Disponible en	¿Dominio público?	Descripción
Simulación continua				
Gridded Surface Subsurface Hydrologic Analysis (GSSHA) Versión 1.43 y superiores (sept. 2006)	USACE	Centro de Investigación y Desarrollo de Ingeniería del Ejército de EE.UU., Laboratorio Costero y de Hidráulica	Sí	<p>GSSHA es un modelo hidrológico espacialmente explícito con fundamento físico capaz de simular un amplio rango de mecanismos de escorrentías, incluidas las escorrentías por exceso de infiltración y exceso de saturación, derretimiento de nieve, desagües pluviales y drenajes de tubos de arcilla con juntas abiertas, exfiltración y descarga de agua subterránea, lagos (incluidos lagos sin drenaje como pozas en praderas), embalses de control, alcantarillas y vertederos.</p> <p>GSSHA es adecuado en numerosas aplicaciones en cuencas costeras y ha tenido diversas aplicaciones, desde selvas tropicales hasta simulaciones de inundación urbana por mareas de tormenta en Nueva Orleans y Nueva York.</p> <p>Tipo: Modelo basado en el Sistema de Modelado de Cuencas (WMS, por sus siglas en inglés).</p>
HEC-HMS 3.0 y superiores (dic. 2005)	USACE	Cuerpo de Ingenieros del Ejército de EE.UU. Centro de Ingeniería Hidrológica	Sí	<p>El HEC-Hydrologic Modeling System (HMS) simula los procesos hidrológicos completos de los sistemas de cuencas dendríticas. HEC-HMS 3.0 y superiores incluyen dos diferentes modelos de humedad del suelo adecuados para modelado continuo, uno con cinco capas y otro con una única capa. Ofrece dos enfoques sobre evapotranspiración e incluye derretimiento de nieve.</p> <p>Tipo: Software de modelo.</p>
HSPF 10.10 y superiores (dic. 1993)	Agencia de Protección Ambiental de EE.UU., U.S. Geological Survey	Agencia de Protección Ambiental de EE.UU. (USEPA)	Sí	<p>Hydrological Simulation Program-Fortran (HSPF) se utiliza para simular la hidrología de cuencas y calidad del agua tanto para contaminantes orgánicos tóxicos como convencionales. El resultado de esta simulación es una historia cronológica de la velocidad de flujo de escorrentías, carga de sedimentos y concentraciones de nutrientes y pesticidas, además de la historia cronológica de cantidad y calidad de agua en cualquier punto de la cuenca.</p> <p>Tipo: Modelo en programa Fortran.</p>

Programa	Desarrollado por	Disponible en	¿Dominio público?	Descripción
MIKE 11 RR (2009 SP4)	DHI Water and Environment	DHI, Inc.	No	<p>MIKE 11 es un modelo hidrológico agrupado de parámetros del módulo lluvia-escorrentía capaz de dar cuenta del almacenamiento de agua en zonas superficiales y subsuperficiales de forma continua. Se calculan hidrogramas de inundación en diferentes ubicaciones a lo largo de los cursos de agua. Se requiere calibración con fenómenos de inundación reales.</p> <p>Tipo: Paquete de modelo.</p> <p>MIKE HYDRO River es el sucesor de MIKE 11. Incluye una interface basada en un mapa para modelar ríos.</p>
TR-20 Win 2.1 (enero 1996)	U.S Geological Survey (USGS)	U.S. Geological Survey, Watershed Modeling	Sí	<p>Precipitation Runoff Modeling System (PRMS) es un sistema de modelado de parámetros distribuidos determinista modular que puede utilizarse para estimar inundaciones máximas y volúmenes para estudios de mapeo de llanuras de inundación. PRMS también se utiliza para evaluar la respuestas de diferentes combinaciones de clima y uso del suelo, caudal e hidrología general de cuencas. El programa puede implementarse con el Sistema de Modelado Modular que facilita la interface de usuario con PRMS, datos de entrada y de salida, exposición gráfica de los datos y una interface con un SIG.</p> <p>Tipo: Modelo incorporado en Modular Modeling System (MMS).</p>
Modelos estadísticos				
FAN	FEMA	Federal Emergency Management Agency (FEMA)	Sí	<p>FAN, el software Alluvial Fan Flooding de FEMA, se usa para definir cierta información sobre la amenaza por inundación en zonas sujetas a inundación del abanico aluvial. El modelo no define la extensión de la zona de amenaza por inundación especial (SFHA, por sus siglas en inglés) sino que desarrolla información de salida que, junto con la información sobre suelos, información topográfica y geomórfica, puede utilizarse para dividir la SFHA en zonas con similar profundidad y velocidad.</p> <p>Los datos de entrada mínimos que requieren es la relación inundación-frecuencia en el ápice. Las opciones contemplan considerar múltiples trayectorias de flujo con avulsiones durante fenómenos de inundación o sin ellas.</p> <p>Tipo: Modelo.</p>

Programa	Desarrollado por	Disponible en	¿Dominio público?	Descripción
HEC-SSP 1.1 (April 2009) y superiores	Cuerpo de ingenieros del ejército de EE.UU.	Centro de Soporte de Recursos Hídricos ¹ Cuerpo de Ingenieros Centro de Ingeniería Hidrológica	Sí	HEC Statistical Software Package (SSP) permite a los usuarios realizar análisis estadísticos de datos hidrológicos que incluyen frecuencia de inundaciones y frecuencia de volumen, duración, frecuencia coincidente y análisis de hidrogramas balanceados. Tipo: Herramienta de análisis.
PEAKFQ 2.4 (abril 1998) y superiores	U.S Geological Survey (USGS)	U.S. Geological Survey (USGS), Water Resources	Sí	PeakFQ ofrece estimaciones sobre magnitudes de inundación y su correspondiente varianza para un rango de 15 probabilidades de excedencia anuales. PKFQWin es la versión de Windows del programa PEAKFQ. Tipo: Herramienta de análisis.
Modelos hidráulicos de flujo constante unidimensionales				
cHECK-RAS	Federal Emergency Management Agency (FEMA)	Federal Emergency Management Agency (FEMA)		cHECK-RAS es un programa diseñado para verificar la validez de una selección de parámetros del programa de modelado hidráulico USACE HEC-RAS. cHECK-RAS utiliza información generada por HEC-RAS (todas las versiones hasta la última, 4.1.0.) Este programa puede ejecutarse únicamente en computadoras con sistema operativo Microsoft Windows XP, Vista o 7 (de 32- o 64 bits). Tipo: Herramienta de validación para el programa de modelos HEC-RAS.
Culvert Master v. 2.0 (septiembre 2000) y superiores	Bentley Systems	Bentley Systems	No	Culvert Master computa elevaciones de cabecera para alcantarillas circulares de concreto y RCB con respecto a diversas condiciones de flujo. Tipo: Herramienta para analizar alcantarillas existentes y nuevas.
HEC-2 4.6.2 (mayo 1991)	Cuerpo de ingenieros del ejército de EE.UU.	Centro de Soporte de Recursos Hídricos Cuerpo de Ingenieros Centro de Ingeniería Hidrológica 609 Second Street Davis, CA 95616-4687	Sí	HEC-2 calcula perfiles de superficie de agua para flujo constante variado gradualmente en canales naturales y construidos por el hombre. El programa es capaz de modelar el efecto de puentes, alcantarillas y vertederos. El modelo incluye análisis de alcantarillas y opciones de canales para inundaciones. Tipo: Modelo.
HEC-RAS 3.1.1 y superiores	Cuerpo de ingenieros del ejército de EE.UU. (USACE)	Centro de Soporte de Recursos Hídricos Cuerpo de Ingenieros Centro de Ingeniería Hidrológica	Sí	HEC_River Analysis System (RAS) permite al usuario modelar la diferencia de elevación de agua superficial debido al uso de diferentes versiones de HEC-RAS. La Versión 3.1 no puede crear resultados detallados para múltiples perfiles en el archivo de reporte. CHECK-RAS no puede extraer datos. Tipo: Modelo.

Programa	Desarrollado por	Disponible en	¿Dominio público?	Descripción
HY8 4.1 y superiores (nov. 1992)	Departamento de Transporte de EE.UU., Administración Federal de Autopistas (FHWA)	Administración Federal de Autopistas	Sí	<p>El modelo computa elevaciones de agua superficial para flujo a través de múltiples alcantarillas paralelas y sobre el terraplén de la vía.</p> <p>Tipo: Modelo.</p>
PondPack v. 8 (mayo 2002) y superiores	Bentley Systems	Bentley Systems	No	<p>El programa analiza redes de cuencas modelando las lluvias y escorrentías de cuencas urbanas y rurales para ayudar a dimensionar estanques de detención y retención, estructuras de desagüe y canales. No puede modelar zonas de flujo no eficaz. Se debe utilizar HEC-RAS o un programa equivalente para modelar condiciones del agua en la cola del embalse cuando se deben considerar zonas de flujo no eficaz.</p> <p>Tipo: Modelo.</p>
QUICK-2 1.0 y superiores (ene. 1995)	FEMA	Administración Federal de Seguros y Mitigación	Sí	<p>QUICK-2 es un programa de análisis hidráulico utilizado para computar elevaciones de la superficie del agua en canales abiertos. Para uso en zonas estudiadas mediante métodos aproximados (Zona A) solamente. No puede utilizarse para desarrollar elevaciones de la superficie del agua en una sección transversal o una serie de secciones transversales. No puede utilizarse para desarrollar canales para inundación.</p> <p>Tipo: Modelo.</p>
RASPLOT 3.0 Beta	FEMA	Agencia Federal para el Manejo de Emergencias (FEMA) Administración Federal de Seguros y Mitigación	Sí	<p>RASPLOT es un programa de computación desarrollado por FEMA que permite al usuario crear perfiles de inundación a través de la extracción automática de datos de archivos de modelación hidráulica de HEC-RAS. Se requiere de perfiles de inundación para su inclusión en informes del Estudio de Seguro contra Inundaciones (FIS, por sus siglas en inglés) que suelen acompañar el Mapa de Tarifas de Seguro contra Inundaciones (FIRM, por sus siglas en inglés) para las comunidades que participan en el Programa Nacional de Seguro contra Inundaciones de FEMA.</p> <p>Tipo: Herramienta que utiliza datos extraídos de HEC-RAS.</p>

Programa	Desarrollado por	Disponible en	¿Dominio público?	Descripción
StormCAD v.4 (junio 2002) y superiores	Bentley Systems	Bentley Systems	No	StormCAD es un programa de diseño y análisis de drenajes pluviales que utiliza datos de flujo de escorrentías y precipitaciones para ayudar a determinar tamaños de tuberías y elevaciones de la parte inferior de las tuberías. No debe utilizarse para sistemas con más de dos tuberías empujadas (por ej., condiciones supercríticas). El flujo de entrada se computa utilizando el Método Racional; el programa solo sirve para cuencas donde el área de drenaje a cada entrada es inferior a 300 acres. Tipo: Herramienta de análisis y diseño.
WSPGW 12.96 (oct. 2000) y superiores	Los Angeles Flood Control District y Joseph E. Bonadiman & Associates, Inc.	Joseph E. Bonadiman & Associates, Inc.	No	Versión para Windows de Water Surface Pressure Gradient (WSPG). WSPG es un modelo de análisis hidráulico que computa y grafica perfiles de superficie de agua y gradientes de presión para canales abiertos y conductos cerrados. Tipo: Modelo.
WSPRO (junio 1988 y posteriores)	US Geological Survey, Administración Federal de Autopistas (FHWA)	U.S Geological Survey (USGS)	Sí	WSPRO computa perfiles de superficie de agua y se utiliza para analizar flujo en canales abiertos, flujo a través de puentes, flujo a través de alcantarillas, desbordamiento de muros de contención y cruces de curso de agua de múltiples aberturas. La opción de canal de inundación está disponible en la versión de junio de 1998. Tipo: Modelo.
XPSTORM 10.0 (mayo de 2006)	XP Solutions	XP Solutions	No	Xpstorm es un programa que modela flujos y contaminantes de aguas de tormenta y aguas residuales mediante sistemas de ingeniería y sistemas naturales que incluyen ríos, lagos y llanuras de inundación con interacción de agua subterránea. Puede utilizarse simulaciones para evaluar el desempeño de los sistemas de ingeniería. Tipo: Modelo.
XP-SWMM 8.52 y superiores	XP Solutions	XP Solutions	No	XP-SWMM tiene la misma capacidad de modelado que XPSTORM y se los suele utilizar juntos; se los llama colectivamente XP. El modelo debe calibrarse según los flujos observados, o el caudal por unidad de superficie debe demostrar ser razonable en comparación con datos obtenidos de instrumentos de medición cercanos, ecuaciones de regresión u otros estándares aceptados para los sucesos con probabilidad de ocurrencia anual del 1%. Tipo: Modelo.

Programa	Desarrollado por	Disponible en	¿Dominio público?	Descripción
Modelos hidráulicos de flujo variable unidimensionales				
FEQ 9.98 y FEQUTL 5.46 (2005, ambos), y superiores	Delbert D. Franz, Linsley, Kraeger Associates; y Charles S. Melching, USGS	U.S Geological Survey (USGS)	Sí	<p>El modelo FEQ es un programa de computación para la solución de las ecuaciones totalmente dinámicas de movimiento para flujo variable unidimensional en canales abiertos y estructuras de control. Las características hidráulicas de la llanura de inundación (incluido el canal, cauces mayores y todas las estructuras de control que afectan el movimiento del flujo) se computan mediante su programa compañero FEQUTL y son utilizadas por el programa FEQ.</p> <p>Formulación conceptual de área inundable no disponible.</p> <p>Tipo: Modelo.</p>
FLDWAV (Nov. 1998)	National Weather Service (NWS)	National Weather Service (NWS)	Sí	<p>FLDWAV es un programa de laminación de inundación generalizado con capacidad de modelar flujos de inundación a través de un único curso de agua o un sistema de cursos de agua interconectado e incluye las características de DAMBRK y DWOPER más capacidades adicionales. Es un programa de computación para la solución de las ecuaciones totalmente dinámicas de movimiento para flujo unidimensional en canales abiertos y estructuras de control. Formulación conceptual de área inundable no disponible.</p> <p>El modelo tiene la capacidad de modelar transporte de sedimentos.</p> <p>Tipo: Modelo.</p>
FLO-2D v. 2007.06 y 2009.06	Jimmy S. O'Brien	FLO-2D	No	<p>FLO-2D es un modelo hidrodinámico capaz de modelar flujos libres, canales complejos, transporte de sedimentos y flujos de lodo y escombros.</p> <p>Tipo: Modelo.</p>
HEC-RAS 3.1.1 y superiores	Cuerpo de ingenieros del ejército de EE.UU.	Centro de Soporte de Recursos Hídricos Cuerpo de Ingenieros Centro de Ingeniería Hidrológica	Sí	<p>HEC-River Analysis System (RAS) permite al usuario modelar la diferencia de elevación de agua superficial debido al uso de diferentes versiones de HEC-RAS. La Versión 3.1 no puede crear resultados detallados para múltiples perfiles en el archivo de reporte. CHECK-RAS no puede extraer datos.</p> <p>Tipo: Modelo.</p>

Programa	Desarrollado por	Disponible en	¿Dominio público?	Descripción
ICPR 2.20 (oct. 2000), 3.02 (nov. 2002), y 3.10 (abril 2008) con PercPack Option	Streamline Technologies, Inc.	Streamline Technologies, Inc.	No	<p>El modelo debe calibrarse según los registros de flujo observado y etapa o marcas de agua más elevadas de fenómenos de inundación reales, tanto en el canal como en la llanura de inundación. Formulación conceptual de canal de inundación no disponible pero la versión 3 permite al usuario especificar estaciones de retención para cortar la sección transversal.</p> <p>Tipo: Modelo.</p>
MIKE 11 (2009 SP4)	DHI Water and Environment	DHI, Inc.	No	<p>MIKE 11 es un modelo hidrodinámico para la solución de las ecuaciones totalmente dinámicas de movimiento para flujo unidimensional en canales abiertos y estructuras de control. La llanura de inundación puede modelarse por separado del canal principal.</p> <p>La formulación conceptual del canal de inundación está disponible para condiciones de flujo constante. El modelo tiene la capacidad de modelar transporte de sedimentos.</p> <p>Tipo: Modelo.</p>
SWMM 5 Versión 5.0.005 (mayo 2005) y superiores	Agencia de Protección Ambiental de EE.UU. (EPA)	División de Suministro de Agua y Recursos Hídricos	Sí	<p>Storm Water Management Model (SWMM) 5 es un modelo de calidad del agua hidrológico-hidráulico dinámico para simulación de un solo evento o simulaciones a largo plazo principalmente para zonas urbanas. El componente de escorrentías funciona en zonas de subcuenca que reciben lluvias y generan escorrentías y cargas de contaminantes. El componente de laminación consiste en tubos, canales, dispositivos de almacenamiento/tratamiento, bombas y reguladores.</p> <p>Tipo: Modelo.</p>
HEC-UNET 4.0 (abril 2001)	Cuerpo de ingenieros del ejército de EE.UU. (USACE)	Centro de Soporte Recursos Hídricos Centro de Ingeniería Hidrológica del Cuerpo de Ingenieros (HEC)	Sí	<p>HEC-UNET es un programa de flujo variable unidimensional capaz de simular el flujo en una red completa de canales abiertos.</p> <p>Tipo: Modelo.</p>
Xpstorm 10.0 (mayo 2006)	XP Solutions	XP Solutions	No	<p>Xpstorm es un programa que modela flujos y contaminantes de aguas de tormenta y aguas residuales mediante sistemas de ingeniería y sistemas naturales que incluyen ríos, lagos y llanuras de inundación con interacción de agua subterránea. Puede utilizarse simulaciones para evaluar el desempeño de los sistemas de ingeniería.</p> <p>Tipo: Modelo.</p>

Programa	Desarrollado por	Disponible en	¿Dominio público?	Descripción
XP-SWMM 8.52 y superiores	XP Solutions	XP Solutions	No	<p>XPSWMM tiene la misma capacidad de modelado que XPSTORM y se los suele utilizar juntos; se los llama colectivamente XP. El modelo debe calibrarse según los flujos observados, o el caudal por unidad de superficie debe demostrar ser razonable en comparación con datos obtenidos de instrumentos de medición cercanos, ecuaciones de regresión u otros estándares aceptados para los sucesos con probabilidad de ocurrencia anual del 1%.</p> <p>Tipo: Modelo.</p>
Modelos de flujo constante/variable bidimensionales				
Adaptive Hydraulics (AdH) versión 4.2 y superiores (junio 2012)	Cuerpo de ingenieros del ejército de EE.UU. (USACE)	Centro de Investigación y Desarrollo de Ingeniería del Ejército de EE.UU., Laboratorio Costero y de Hidráulica	Sí	<p>AdH es un modelo hidrodinámico con fundamento físico espacialmente implícito capaz de simular un amplio rango de características hidráulicas tales como lluvia y evaporación, inundación superficial, efectos del viento y del oleaje, impactos de la fricción a causa de la vegetación y diversos tipos de estructuras hidráulicas. AdH también incluye la capacidad de simular condiciones de contorno de cabecera y flujo en espacios variados, por lo que es adecuado para numerosas aplicaciones relacionadas con costas, estuarios y ríos. AdH ha sido aplicado en las grandes amplitudes de marea de Alaska y en los desiertos de Afganistán. AdH ha sido ampliamente utilizado en todo EE.UU. para transporte de sedimentos y constituyentes, rompimiento de represas, impacto de mareas y análisis de inundaciones.</p> <p>Tipo: Modelo.</p>
FESWMS 2DH 1.1 y superiores (junio 1995)	U.S Geological Survey (USGS)	U.S. Geological Survey National Center	Sí	<p>FESWMS-2DH es un conjunto modular de programas de computación que simula flujos de agua superficial y transporte de sedimentos. El programa puede analizar el flujo en ríos con poca profundidad, llanuras de inundación, mares costeros y cruces de puentes.</p> <p>Tipo: Conjunto de programas de computación.</p>
FLO-2D v. 2007.06 y 2009.06	Jimmy S. O'Brien	FLO-2D	No	<p>FLO-2D es un modelo hidrodinámico capaz de modelar flujos libres, canales complejos, transporte de sedimentos y flujos de lodo y escombros.</p> <p>Tipo: Modelo.</p>

Programa	Desarrollado por	Disponible en	¿Dominio público?	Descripción
HEC-RAS Versión 5.0	Cuerpo de ingenieros del ejército de EE.UU. (USACE)	Centro de Soporte de Recursos Hídricos Cuerpo de Ingenieros Centro de Ingeniería Hidrológica	Sí	<p>HEC-RAS modela la elevación de la superficie del agua. La Versión 5.0 es capaz de realizar laminación hidrodinámica bidimensional dentro de la porción de análisis de flujo variable del HEC-RAS. Los usuarios pueden realizar modelado de flujo variable unidimensional, modelado de flujo variable bidimensional, así como laminación de flujo variable unidimensional y bidimensional combinado.</p> <p>Tipo: Modelo.</p>
MIKE Flood HD v.2009 SP4	DHI Water and Environment	DHISoftware.com/	No	<p>MIKE FLOOD HD es un acople dinámico de los modelos MIKE 11 (unidimensional) y MIKE 21 (bidimensional). Resuelve las ecuaciones totalmente dinámicas de movimiento para flujo unidimensional y bidimensional en canales abiertos, llanuras de inundación fluviales, abanicos aluviales y zonas costeras. Esto permite embeber características de submalla como enlaces unidimensionales dentro de un dominio de modelado bidimensional. Los ejemplos de características de submalla incluyen pequeños canales, alcantarillas, vertederos, compuertas, puentes y otras estructuras de control.</p> <p>Tipo: Modelo.</p>
Modelo de caudal de río bidimensional de sedimentación e hidráulica fluvial. (SRH-2D)	U.S. Bureau of Reclamation Technical Service Center Sedimentation and River Hydraulics Group Denver Federal Center 6th and Kipling, Building 67 Denver, Colorado 80225-0007	Departamento de Transporte de EE.UU. Administración Federal de Autopistas	Sí	<p>SRH-2D, Sedimentation and River Hydraulics – Two-Dimensional model, es un modelo bidimensional hidráulico, de sedimentos, temperatura y vegetación para sistemas fluviales.</p> <p>SRH-2D se utiliza para modelar caudal en uno o múltiples cursos de agua cubriendo el canal principal, canales laterales y llanuras de inundación, laminación de inundación y mapeo de inundación sobre cualquier terreno, caudal alrededor de estructuras dentro del curso de agua tales como vertederos, represas de derivación, compuertas de descarga, diques de represas, etc., flujo o desbordamiento sobre márgenes y diques, flujo sobre zonas vegetadas e interacción con caudales del canal principal, flujo en reservorios con liberación de flujo conocida y evaluación morfológica de potencial de erosión del lecho.</p> <p>Tipo: Modelo.</p>

Programa	Desarrollado por	Disponible en	¿Dominio público?	Descripción
TABS RMA2 v. 4.3 y superiores (oct. 1996) RMA4 v. 4.5 y superiores (julio 2000)	Cuerpo de ingenieros del ejército de EE.UU.	Centro de Investigación de Ingeniería de Costera Departamento de la Estación del Experimento de Cursos de Agua del Ejército Cuerpo de Ingenieros	Sí	TABS RMA2 v 4.3 es un modelo de flujo estable/inestable bidimensional que simula niveles y velocidades de agua. El modelo computa soluciones de elementos finitos de la forma Reynolds de las ecuaciones de Navier-Stokes para flujos turbulentos. Tipo: Componente del código de modelado del paquete de análisis TABS.
XPSWMM 2D/ XPStorm 2D v. 12.00 (mayo 2010)	XP Solutions	XP Solutions	No	El programa simula flujos superficiales libres bidimensionales resolviendo las ecuaciones totalmente dimensionales de continuidad y momento en profundidad promedio. La simulación bidimensional se vincula dinámicamente con el modelado unidimensional de XP-SWMM/XP-Storm tomando el perfil de elevación de superficie de agua unidimensional como la condición de frontera interna del dominio 2D. Los caudales transferidos dependen de la diferencia en la cabecera y de la rugosidad de las celdas. El programa no tiene ninguna opción para modelar el caudal en el vertedero a lo largo de la frontera 1D/2D; se debe tener cuidado al transferir el caudal a lo largo de estas fronteras. Tipo: Modelo.
HydroBID	Banco Interamericano de Desarrollo (BID)	IDB HydroBID	Sí	Un sistema integrado y cualitativo para simular hidrología y gestión de recursos hídricos en la región de América Latina y el Caribe en escenarios de cambio (por ej., climático, de uso del suelo, de la población) que permite evaluar la cantidad y calidad del agua, necesidades de infraestructura y el diseño de estrategias y proyectos de adaptación como respuesta a estos cambios. Tipo: Modelo.
ERN-NHRAIN (ERN-LluviaNH)	Central American Probabilistic Risk Assessment Platform (CAPRA)	Central American Probabilistic Risk Assessment Platform (CAPRA)	Sí	El software permite la generación de tormentas estocásticas elípticas que se obtienen de curvas de PADF (precipitación, área, duración, frecuencia) para una cuenca determinada. El modelado de lluvia no asociada al paso de un huracán cerca de una región específica puede realizarse utilizando ERN-LluviaNH, desarrollado por ERN-AL. Tipo: Modelo.
ERN-HURRICANE (ERN-Huracán)	Central American Probabilistic Risk Assessment Platform (CAPRA)	Central American Probabilistic Risk Assessment Platform (CAPRA)	Sí	ERN-Hurricane es un sistema de modelado probabilista de amenaza por huracán desarrollado por ERN-AL. El programa toma como datos de entrada las trayectorias registradas de huracanes históricos y genera trayectorias estocásticas que son consistentes con la trayectoria original. Calcula escenarios de amenaza por vientos fuertes, marea de tormenta y lluvia fuerte. Tipo: Modelo.

Programa	Desarrollado por	Disponible en	¿Dominio público?	Descripción
ERN-FLOOD (ERN-Inundación)	Central American Probabilistic Risk Assessment Platform (CAPRA)	Central American Probabilistic Risk Assessment Platform (CAPRA)	Sí	ERN-Inundación permite el análisis de inundación por desbordamiento de ríos, con base en una serie de escenarios de lluvia estocásticos calculados con ERN-Huracán (para lluvia ocasionada por huracanes) o ERN-LluviaNH (para lluvia no ocasionada por huracanes). Tipo: Modelo.



Tabla AD.8: Modelos de aumento del nivel del mar

Programa	Desarrollado por	Disponible en	¿Dominio público?	Descripción
Sea Level Rise Inundation con ArcGIS	Oficina de Gestión Costera, NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration	Software: No Método: Sí	Metodología para generar inundación por aumento del nivel del mar para el Sea Level Rise Viewer. El método es descrito como un enfoque de bañera modificado que intenta dar cuenta de la variabilidad de marea local y regional y de la conectividad hidrológica.
Probabilistic Sea-Level Rise Hazard Analysis (PSLRHA)	Ting Lin, Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad de Stanford	Ting Lin, Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad de Stanford, e-mail: tinglin@stanford.edu	Sí	El marco integra los conocimientos sobre aumento del nivel del mar de las actuales comunidades científicas sobre cambio climático para la toma de decisiones informadas en materia de ingeniería y política que afectan la infraestructura costera, a las poblaciones y los ecosistemas. PSLRHA combina probabilidades de todos los escenarios de emisión con predicciones del consecuente aumento del nivel del mar a través del tiempo para computar la amenaza por aumento del nivel del mar.
Potential Inundated Areas (PIA) con SIG	Xingong Li y David Braaten, Universidad de Kansas, y Centro para Teledetección de Láminas de Hielo (CReSIS)	Xingong Li y David Braaten, Universidad de Kansas, y Centro para Teledetección de Láminas de Hielo (CReSIS)	No	Métodos de SIG para abordar y visualizar los impactos de una potencial inundación que utiliza los mejores conjuntos de datos disponibles. Se abordaron estimaciones de tamaño de superficie, población y cobertura del suelo para todos los incrementos del aumento del nivel del mar.
CoastCLIM Sea-Level Simulator (componente del sistema SimCLIM)	CLIMsystems	CLIMsystems	No	Herramienta de base de datos para generar curvas de nivel del mar pronosticado para cualquier ubicación costera del mundo. Utiliza una base de datos global de celdas de malla regionales para generar tasas de cambio en el nivel del mar asociadas a proyecciones de MCG sometidas a downscaling sobre aumento futuro del nivel del mar y escenarios de misión de CO2. Incluye un total de seis escenarios de emisiones.

Programa	Desarrollado por	Disponible en	¿Dominio público?	Descripción
Inundation Frequency Analysis Program	Servicios Oceánicos Nacionales de NOAA	Servicios Oceánicos Nacionales de NOAA	Sí	El programa utiliza registros del nivel del agua observado de 6 minutos procedentes de mareógrafos relacionando las horas y las alturas de las mareas altas para un periodo de registro deseado como datos de entrada. El resultado es una hoja de cálculo de Excel que toma cada marea alta en el periodo de tiempo especificado con relación al dato de referencia especificado por el usuario. El análisis de inundaciones genera gráficos de ocurrencias por elevación y duración.
ArcGIS	Environmental Systems Research Institute (ESRI)	Environmental Systems Research Institute (ESRI)	No	ArcGIS ofrece herramientas contextuales para mapeo y razonamiento espacial para explorar datos y compartir información. Entre otras áreas, el programa se utiliza para generar mapas de inundación por aumento del nivel del mar mediante diversos conjuntos de herramientas que incluyen, entre otras, Spatial Analyst.



Tabla AD.9: Modelos de tsunami

Programa	Desarrollado por	Disponible en	¿Dominio público?	Descripción
Modelo MOST (Method of Splitting Tsunami)	Laboratorio Ambiental Marino del Pacífico (PMEL) y Administración Oceánica y Atmosférica Nacional (NOAA)	Laboratorio Ambiental Marino del Pacífico (PMEL)	Sí	El modelo MOST tiene 3 etapas: 1) La fase de deformación genera condiciones iniciales simulando cambios en el piso oceánico causados por el fenómeno sísmico; 2) la fase de propagación propaga hacia el agua oceánica profunda el tsunami generado utilizando ecuaciones de onda no lineales de aguas someras (NSW, por sus siglas en inglés); 3) la fase de inundación simula el comportamiento de mares someros utilizando run-up multigrilla para predecir la inundación costera.
ADCIRC (Modelo de Circulación Avanzado)	Johannes Westerink, Universidad de Notre Dame, y Rick Luettich, Universidad de North Carolina en Chapel Hill, Instituto de Ciencias Marinas del Laboratorio Costero y de Hidráulica de USACE.	Nick Krauss (Laboratorio Costero y de Hidráulica) 3909 Halls Ferry Road Vicksburg, MS 39180-6199 También puede comprarse a vendedores de software como un componente de SWM.	No	ADCIRC es un modelo hidrodinámico de 2-D de elementos finitos que realiza análisis mediante simulaciones de corto y largo plazo de elevaciones y velocidades de marea y de marea de tormenta en sistemas oceánicos profundos, de plataforma continental, mares costeros y estuarios de pequeña escala.
TUNAMI-N1	Universidad de Tohoku, Japón	Centro de Investigación para el Control de Desastres, Universidad de Tohoku, Sendai, Japón	No	Método numérico de simulación de tsunami con un esquema de leap-frog. El código de N1 consiste en una teoría lineal con mallas constantes.

Programa	Desarrollado por	Disponible en	¿Dominio público?	Descripción
TUNAMI-N2	Universidad de Tohoku, Japón	Centro de Investigación para el Control de Desastres, Universidad de Tohoku, Sendai, Japón	No	Método numérico de simulación de tsunami con un esquema de leap-frog. El código de N2 consiste en una teoría lineal en mares profundos, una teoría en mares someros y run-up en la tierra con grillas constantes.
TUNAMI-N3	Universidad de Tohoku, Japón	Centro de Investigación para el Control de Desastres, Universidad de Tohoku, Sendai, Japón	No	Método numérico de simulación de tsunami con un esquema de leap-frog. El código de N3 consiste en una teoría lineal con mallas variables.
TUNAMI-F1	Universidad de Tohoku, Japón	Centro de Investigación para el Control de Desastres, Universidad de Tohoku, Sendai, Japón	No	Método numérico de simulación de tsunami con un esquema de leap-frog. El código de F1 consiste en una teoría lineal de propagación en el océano en coordenadas esféricas.
TUNAMI-F2	Universidad de Tohoku, Japón	Centro de Investigación para el Control de Desastres, Universidad de Tohoku, Sendai, Japón	No	Método numérico de simulación de tsunami con un esquema de leap-frog. El código de F2 consiste en una teoría lineal de propagación en aguas oceánicas y costeras.
TsunAWI	Instituto Alfred Wegener	Instituto Alfred Wegener de Investigación Polar y Marina, Bremerhaven, Alemania	No	Basado en mallas no estructuradas de elementos finitos, utiliza un método lineal de discretización numérica de elementos finitos conforme y no conforme de Lagrange. TsunAWI se utiliza para computaciones de escenarios en el Sistema de Alerta Temprana de Tsunami Alemán-Indonesio (GITEWS) y también en Indonesia.
COULWAVE (Cornell University Long and Intermediate Wave Modeling Package)	Desarrollo inicial de Patrick Lynett bajo Philip Liu en Cornell University, 2000. Desarrollo adicional de Lynett en Texas A&M University, 2002 - plynett@tamu.edu	Inundation Science & Engineering Cooperative (ISEC)	Sí	Modelo de aguas superficiales que resuelve diversos modelos de ecuaciones con base en onda larga y profundidad integrada, incluidas ecuaciones de onda no lineales en aguas someras y una serie de ecuaciones de tipo Boussinesq débilmente dispersivas.
DELFT3D FM	Deltares	Rotterdamseweg 185,2629 HD, Delft, The Netherlands XP PO Box: P.O. Box 177, 2600 MH Delft, The Netherlands	No	Este modelo es la generación siguiente al módulo de simulaciones hidrodinámicas DELFT3D en mallas no estructuradas en 1D-2D-3D. DELFT3D FM simula mareas de tormenta, huracanes, tsunamis, flujos y niveles de agua detallados, olas, transporte y morfología de sedimentos y ecología y calidad del agua.



Tabla AD.10: Modelos de volcanes

Programa	Desarrollado por	Disponible en	¿Dominio público?	Descripción
Bent - Atmospheric Plume Analysis	Universidad de Buffalo, NY	Volcano Hub (VHub)	Freeware	Modelo teórico de nube volcánica con base en la aplicación de ecuaciones de movimiento en un sistema de coordenadas centrado en la nube. Tipo: Modelo.
CAPRA-GIS	Central American Probabilistic Risk Assessment Platform (CAPRA)	Central American Probabilistic Risk Assessment Platform (CAPRA)	Sí	Herramienta basada en un sistema de información geográfica (SIG) que utiliza un enfoque probabilista para generar distribuciones de riesgo de desastres e impactos con base en la vulnerabilidad y la exposición a diversas amenazas. Tipo: Herramienta.
Energy Cone	Universidad de Concepcion, Chile	Volcano Hub (VHub)	Sí	Herramienta para estimar descarga y zona de inundación de deslizamientos de tierra y otros movimientos de masas utilizando modelos de elevación digitales (DEM, por sus siglas en inglés). El resultado es un contorno de cono de energía sobre una imagen de colinas sombreadas. Tipo: Herramienta.
ERN-Volcano	Central American Probabilistic Risk Assessment Platform (CAPRA)	Central American Probabilistic Risk Assessment Platform (CAPRA)	Sí	Programa que integra todas las variables incluidas en el modelo de evaluación de amenaza volcánica de CAPRA-GIS y genera escenarios que representan la amenaza provistos por el análisis de volcanes. Tipo: Modelo.
Laharz_py	U.S Geological Survey (USGS)	U.S Geological Survey (USGS)	Sí	Un paquete de herramientas basado en python para utilizar en ArcMap que pronostica áreas con probabilidad de inundación a causa de fenómenos hipotéticos futuros, que utiliza un DEM 3D y niveles de confianza especificados por el usuario. Los resultados pueden presentarse en mapas que comparan el rango de área inundada. Tipo: Herramienta para ArcMap.
Puffin/Puff	Universidad de Buffalo, NY	Volcano Hub (VHub)	Sí	Herramienta para ejecutar el modelo de dispersión de cenizas - puff - basado en el modelo de trayectoria de la nube - bent. Tipo: Puffin es una herramienta para ejecutar el modelo "Puff" con base en el modelo "Bent".
PyBetUnrestPy	Instituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia di Roma & Bologna, Italia	Volcano Hub (VHub)	Freeware	Herramienta para computar y visualizar la amenaza volcánica de corto y largo plazo asociada a agitación magmática y no magmática que utiliza un modelo de Árbol de Evento Bayesiano. Tipo: Componente del modelo BET_UNREST.

Programa	Desarrollado por	Disponible en	¿Dominio público?	Descripción
PyBetVH (ene. 2016)	Instituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia di Roma & Bologna, Italia	Volcano Hub (VHub)	Freeware	Herramienta para computar la amenaza volcánica a largo plazo que utiliza un Árbol de Evento Bayesiano para el modelo de amenaza volcánica. Tipo: Componente del modelo BET_VH. Programa que computa la probabilidad de fenómenos de amenaza volcánica a largo plazo, por ej., flujos de lava, lluvia de tefra, flujos piroclásticos, lajares, etc.
Tephra2	Universidad de Ginebra, Suiza y Universidad del Sur de la Florida	Volcano Hub (VHub)	Sí	Utiliza la ecuación de difusión por advección para pronosticar la dispersión de tefra en una ubicación determinada con base en una serie de condiciones eruptivas definidas por el usuario. Tipo: Herramienta.
Titan2D Hazard Map Emulator Workflow	University of Buffalo, NY	Volcano Hub (VHub)	Sí	Herramienta que trabaja con titan2D para producir mapas de amenazas que muestran la probabilidad de que la profundidad del flujo alcance una altura crítica. Tipo: Componente de la herramienta Titan2D Mass-Flow Simulation.
Titan2D Mass-Flow Simulation Tool (junio 2016)	University of Buffalo, NY	Volcano Hub (VHub)	Sí	Modelo que determina el flujo de masa sobre terreno natural, por ej., flujos volcánicos y deslizamientos de escombros, que utiliza datos de un modelo de elevación digital. Diseñado para utilizar con sistemas de información geográfica como ArcGIS y GRASS. Tipo: Kit de herramientas de modelo.



Tabla AD.11: Modelos de incendio

Programa	Desarrollado por	Disponible en	¿Dominio público?	Descripción
ArcFuels	Servicio Forestal de EE.UU. (USFS)	Servicio Forestal de EE.UU. - Fire, Fuel Smoke Science Program	Sí	<p>Una barra de herramientas para ArcMap que ofrece un flujo lógico desde análisis por rodal a análisis por paisaje de vegetación, combustible y comportamiento del fuego para evaluación de riesgo de incendio. ArcFuels utiliza una serie de modelos diferentes en una interface de usuario simple dentro de ArcMap. ArcFuels incorpora datos de modelos como FlamMap y Forest Vegetation Simulator.</p> <p>Tipo: Herramienta.</p>
BehavePlus	Systems for Environmental Management (SEM), Departamento de Agricultura de EE.UU. (USDA) y Servicio Forestal de EE.UU. (USFS)	Servicio Forestal de EE.UU. - Fire, Fuel Smoke Science Program	Sí	<p>Programa que condiciones de combustible y humedad para modelar superficie y velocidad de propagación del fuego, probabilidad de ignición, tamaño del incendio, distancia de focos secundarios desde el frente de llamas y mortalidad de árboles. Diseñado para gestión de incendios, predicción de incendios, planificación de incendios prescritos, evaluación de amenaza por combustibles y educación y capacitación.</p> <p>Tipo: Modelo.</p>
FARSITE	Systems for Environmental Management (SEM)	Servicio Forestal de EE.UU. - Fire, Fuel Smoke Science Program	Sí	<p>Modelo que utiliza datos de topografía, combustible, meteorología y viento para simular crecimiento del fuego. El modelo acepta datos de entrada en formato ráster de SIG y los resultados son compatibles con SIG para visualización.</p> <p>Tipo: Modelo.</p>
Fire and Fuels Extension to the Forest Vegetation Simulator (FFE-FVS)	Servicio Forestal de EE.UU. (USFS)	Servicio Forestal de EE.UU. - Fire, Fuel Smoke Science Program	Sí	<p>Vincula FVS, un modelo de vegetación forestal, con un modelo para comportamiento del fuego y combustible. El modelo ofrece a los responsables de gestionar una herramienta que simula la dinámica del fuego y su potencial comportamiento a través del tiempo.</p> <p>Tipo: Modelo de incendio componente del modelo de crecimiento de bosque Forest Vegetation Simulator (FVS).</p>

Programa	Desarrollado por	Disponible en	¿Dominio público?	Descripción
FireFamilyPlus	Departamento de Agricultura de EE.UU. (USDA), Servicio Forestal de EE.UU. (USFS).	Servicio Forestal de EE.UU. - Fire, Fuel Smoke Science Program	Sí	<p>Software que resume y analiza observaciones meteorológicas diarias y computa índices de peligro de incendios con base en el Sistema Nacional de Clasificación de Peligro de Incendios (NFDRS, por sus siglas en inglés). FPP es capaz de resumir climatología meteorológica para producir puntos de cambio climatológicos para la toma de decisiones sobre gestión de incendios y puede utilizarse para establecer umbrales de ocurrencia de incendios.</p> <p>Tipo: Herramienta en paquete de programas de comportamiento del fuego/peligro de incendios.</p>
FIREHARM (FIRE Hazard and Risk Model)	Departamento de Agricultura de EE.UU. (USDA) y Servicio Forestal de EE.UU. (USFS), Estación de Investigación de Rocky Mountain y Estación de Investigación del Noroeste del Pacífico.	Servicio Forestal de EE.UU. - Fire, Fuel Smoke Science Program	Sí	<p>FIREHARM computa medidas comunes de comportamiento del fuego, peligro de incendios y efectos del fuego sobre el espacio para utilizar como variables para mostrar la amenaza por incendio espacialmente y luego computa el riesgo de incendios simulando contenidos diarios de humedad del combustible durante 18 años para computar medidas de incendios a través del tiempo. FIREHARM es más una plataforma de modelado que un modelo de incendios porque integra en su estructura modelos de simulación de incendios previamente desarrollados y no incluye ningún método nuevo de simulación de comportamiento o efectos del fuego.</p> <p>Tipo: Modelo.</p>
First Order Fire Effects Model (FOFEM)	Fire, Fuel and Smoke Science Program de la Estación de Investigación de Rocky Mountain (RMRS); Gestión de Incendios y de la Aviación del Servicio Forestal de EE.UU. (USFS).	Servicio Forestal de EE.UU. - Fire, Fuel Smoke Science Program	Sí	<p>Programa de computación para predecir mortalidad de árboles, consumo de combustible, producción de humo y calentamiento del suelo causado por quemas o incendios prescritos.</p> <p>Tipo: Modelo.</p>

Programa	Desarrollado por	Disponible en	¿Dominio público?	Descripción
FlamMap	Servicio Forestal de EE.UU. (USFS)	Servicio Forestal de EE.UU. - Fire, Fuel Smoke Science Program	Sí	<p>Program que computa las potenciales características del comportamiento del fuego, por ej., velocidad de propagación, duración, intensidad, etc. No existe un componente temporal de FlamMap, no simula variaciones en el comportamiento del fuego causadas por fluctuaciones meteorológicas y diurnas. Utiliza datos espaciales sobre topografía y combustibles para calcular las características del comportamiento del fuego para un único conjunto de condiciones ambientales. Los resultados en formato ráster pueden visualizarse en un SIG.</p> <p>Tipo: Herramienta, parte de un paquete de sistemas de comportamiento del fuego.</p>
Fuel and Fire Tools (FFT)	Servicio Forestal de EE.UU. (USFS)	Servicio Forestal de EE.UU. - Equipo de Aplicaciones para Investigación de Incendios y Ambiental	Sí	<p>Integra Fuel Characteristics Classification System (FCCS), Consume, FEPS, Pile Calculator y Digital Photo Series en una única interface de usuario.</p> <p>Tipo: Kit de herramientas.</p>
FuelCalc	Fire, Fuel and Smoke Science Program de la Estación de Investigación de Rocky Mountain (RMRS); Gestión de Incendios y de la Aviación del Servicio Forestal de EE.UU. (USFS).	Servicio Forestal de EE.UU. - Fire, Fuel Smoke Science Program	Sí	<p>Software de simulación de características de combustibles que calcula las características del combustible del dosel arbóreo y simula los efectos de rarefacción, recortado, pilotado y quema controlada sobre las características del combustible.</p> <p>Tipo: Modelo.</p>
LandFire Data Access Tool	Departamento de Agricultura de EE.UU. (USDA) y Departamento del Interior de EE.UU. (USDOI).	U.S. Geological Survey y Departamento del Interior	Sí	<p>Una barra de herramientas de ArcGIS que permite a los usuarios interactuar y descargar datos del sitio de distribución de datos LandFire.</p> <p>Tipo: Herramienta.</p>
LandFire Total Fuel Change Tool (LFTFC)	Departamento de Agricultura de EE.UU. (USDA) y Departamento del Interior de EE.UU. (USDOI).	U.S. Geological Survey y Departamento del Interior	Sí	<p>Barra de herramientas de ArcGIS que funciona junto con la herramienta LandFire Data Access y permite al usuario crear capas personalizadas de superficie y combustible de dosel arbóreo para aplicaciones locales.</p> <p>Tipo: Herramienta.</p>
NEXUS	Departamento de Agricultura de EE.UU. (USDA) y Departamento del Interior de EE.UU. (USDOI).	Pyrologix	Sí	<p>Hoja de cálculo a nivel de rodal que vincula modelos de predicción de fuego de superficie y de copas. Vinculación con ArcFuels10.</p> <p>Tipo: Herramienta que vincula modelos separados de comportamiento de fuego de superficie y de copas.</p>

Programa	Desarrollado por	Disponible en	¿Dominio público?	Descripción
WIFIRE Firemap	Universidad de California, San Diego	UC San Diego - Supercomputer Center	Sí	<p>Una plataforma en línea que realiza modelado predictivo y análisis de fuegos y pronósticos en tiempo real. También brinda acceso a información sobre incendios pasados, condiciones meteorológicas pasadas y actuales, pronósticos meteorológicos, detecciones satelitales e información sobre vegetación y paisajes.</p> <p>Tipo: Herramienta de modelado en línea.</p>
Wildland-Urban Interface Fire Dynamics Simulator (WFDS)	National Institute of Standards and Technology (NIST) y Departamento de Servicios Forestales de EE.UU. (USFS)	Servicio Forestal de EE.UU. - Equipo de Aplicaciones para Investigación de Incendios y Ambiental	Sí	<p>Extensión de Fire Dynamics Simulator (FDS) de NIST que utiliza dinámica de fluidos computacional para simular el comportamiento del fuego.</p> <p>Tipo: Extensión de Fire Dynamics Simulator (FDS).</p>
WindNinja	Departamento de Agricultura de EE.UU. (USDA), Servicio Forestal de EE.UU. (USFS).	Servicio Forestal de EE.UU. - Laboratorio de Fuego	Sí	<p>Programa que computa espacialmente campos de viento variados para aplicación en incendios forestales. Resultados para utilizar en programas como FARSITE y FlamMap o para mostrar en SIG.</p> <p>Tipo: Modelo.</p>

Apéndice E: Conceptos básicos relacionados con el cambio climático

Este Apéndice ofrece una breve descripción de ciertos aspectos de los modelos climáticos utilizados en la ciencia del cambio climático, su utilización y modelos que ofrecen resultados procesados con cobertura global. Parte de este material ha sido adaptado con base en la sucinta y útil guía denominada *Trends and Projections – A Guide to Information and References* desarrollada por David Patte (2014) del Servicio de Pesca y Vida Silvestre de EE.UU., Región Pacífica.

Este breve resumen está dirigido a personas no especialistas. Para conocer más detalles, puedes consultar los informes del Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) en www.ipcc.ch, como así también otras numerosas publicaciones.

AE.1. Escala global vs. regional vs. local

Las evaluaciones de riesgo de desastres se ven afectadas por el clima local actual y futuro en la zona del proyecto. Los modelos de circulación general, también denominados modelos climáticos globales (MCG, en ambos casos), son herramientas de simulación numérica complejas y se basan en nuestro mejor conocimiento científico del sistema climático que incluye la atmósfera, la hidrósfera, la biósfera y la litósfera. Estos modelos operan sobre la base de sólidos fundamentos físicos relacionados con la atmósfera, la dinámica de fluidos, las interacciones acopladas atmósfera-océano, conocimiento teórico y procedente de observaciones de los ciclos acoplados tierra-atmósfera, energía-agua y biogeoquímicos. Si bien los modelos globales se ejecutan en las mejores supercomputadoras que existen en el mundo, la gran cantidad de cálculos limita la resolución espacial y los procesos asociados que los modelos pueden resolver con eficacia. Los MCG no están diseñados específicamente para simular clima regional o local; su resolución espacial gruesa (en el orden de cientos de kilómetros) limita la aplicación directa de resultados en análisis regionales y locales y en el proceso de toma de decisiones (Daniels y otros, 2012, Mearns y otros, 2014). Las proyecciones climáticas sometidas a downscaling (véase más abajo) actualmente ofrecen resultados climáticos de alta resolución necesarios para los estudios de evaluación de riesgo de los proyectos.

AE.2. Proyecciones climáticas

Los MCG son ejecutados por agencias a cargo de modelado en países de todo el mundo (véase la Tabla AE.4.2). El Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados (CMIP, por sus siglas en inglés) ofrece resultados de los MCG. La Fase 3 de dicho Proyecto, denominada CMIP3, se desarrolló en 2005 y 2006 para el Cuarto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (AR4). La Fase 5 de dicho Proyecto, denominada CMIP5, se inició en 2012 para el Quinto Informe de Evaluación (AR5).

Los MCG continuaron desarrollándose entre CMIP3 y CMIP5, por lo que CMIP5 constituye una representación más actualizada del estado de la ciencia. Otro aspecto que diferencia a los experimentos de CMIP3 y CMIP5 son las prescripciones de escenarios futuros, denominadas forzamientos. CMIP3 utiliza escenarios futuros del Informe Especial sobre Escenarios de Emisiones (SRES, por sus siglas en inglés) (Nackicenovic y otros, 2011). Cada SRES (por ej., el A2B) representa una trayectoria teorizada de emisiones futuras de gases de efecto invernadero que depende de cambios en la economía, del crecimiento demográfico, de la tecnología y de las elecciones en materia de políticas realizadas en todo el mundo. El IPCC resume estos escenarios del siguiente modo (<http://www.ipcc.ch/ipccreports/sres/emission/index.php?idp=3>):

- La familia de argumentos y escenarios A1 describe un mundo futuro con un crecimiento económico muy rápido, población global que alcanza un pico máximo a mitad de siglo y luego disminuye y una rápida introducción de tecnologías nuevas y más eficientes. Los temas subyacentes más importantes son la convergencia entre regiones, el desarrollo de capacidades y mayores interacciones culturales y sociales, con una reducción sustancial en las diferencias regionales con respecto los ingresos per cápita. La familia de escenarios A1 se desarrolla en tres grupos que describen direcciones alternativas de cambio tecnológico en el sistema energético. Los tres grupos A1 se distinguen por su énfasis tecnológico: uso intensivo de combustibles fósiles (A1F1), fuentes de energía no fósiles (A1T) o un equilibrio entre todas las fuentes (A1B).
- La familia de argumentos y escenarios A2 describe un mundo muy heterogéneo. El tema subyacente es la autonomía y la preservación de las identidades locales. Los patrones de fertilidad entre las regiones convergen muy lentamente, lo que ocasiona un crecimiento continuo en la población mundial. El desarrollo económico está orientado a nivel regional principalmente y el crecimiento económico per cápita y el cambio tecnológico están más fragmentados y son más lentos que en otros argumentos.
- La familia de argumentos y escenarios B1 describe un mundo convergente con la misma población mundial que alcanza un pico máximo a mitad de siglo y luego disminuye, igual que en el argumento A1, pero con rápidos cambios en las estructuras económicas hacia una economía de servicios y de la información, con reducciones en la intensidad de uso de materiales y la introducción de tecnologías limpias y eficientes en términos de recursos. El énfasis está puesto en soluciones globales para la sostenibilidad económica, social y ambiental, incluida una mayor equidad, pero sin iniciativas climáticas adicionales.
- La familia de argumentos y escenarios B2 describe un mundo donde el énfasis está puesto en las soluciones locales a la sostenibilidad económica, social y ambiental. Se trata de un mundo con un crecimiento demográfico mundial continuo, a un ritmo menor que en el argumento A2, niveles intermedios de desarrollo económico y un cambio tecnológico menos veloz y más diverso que en los argumentos B1 y A1. Si bien el escenario también está orientado hacia la protección ambiental y la equidad social, se enfoca en los niveles local y regional.

El enfoque del CMIP3 basado en el SRES intenta brindar pronósticos de la naturaleza futura del mundo y de la sociedad. La dependencia de escenarios socioeconómicos introduce una considerable dosis de incertidumbre. A diferencia de CMIP3, CMIP5 abandonó los intentos por predecir las condiciones socioeconómicas futuras y, en lugar de eso, ofrece un conjunto de diferentes supuestos sobre concentraciones futuras de gases de efecto invernadero, conocidos como Trayectorias de Concentración Representativas (RCP, por sus siglas en inglés). Por ejemplo, la RCP6 constituye un escenario posible de emisiones/cambio climático en el que las concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero están estabilizadas de manera tal que no superan un forzamiento radiativo equivalente a 6 W/m^2 en 2100, equivalente a alrededor de 850 ppmv CO_2 (como referencia, el nivel actual de CO_2 en la atmósfera es de 400 ppmv). CMIP5 examinó las RCP con forzamientos desde $2,6$ hasta $8,5 \text{ W/m}^2$. La RCP 8.5 constituye el escenario de emisiones más extremo; las concentraciones de gases de efecto invernadero continúan aumentando sin control hasta final de siglo ocasionado un forzamiento radiativo de $8,5 \text{ W/m}^2$ (equivalente a alrededor de 1.370 ppmv CO_2) hacia el año 2100.

Los escenarios del SRES y de las RCP no tienen una correspondencia directa. En términos generales, el escenario de la RCP 4.5 es similar al B1 del SRES, el de la RCP 6 es levemente inferior al A1B del SRES y el de la RCP 8.5 es similar al A1F1 del SRES en términos de concentraciones de gases de efecto invernadero (véase Jubb y otros, s.f.).

AE.3. Proyecciones climáticas sometidas a downscaling

El downscaling es el proceso de traducir la información climática de los MCG de una resolución gruesa a una mucho más fina. Existen dos enfoques principales con relación al downscaling: estadístico y

dinámico. El downscaling dinámico se logra ejecutando modelos climáticos con forzamiento desde los MCG. Se trata de una tarea compleja, motivo por el cual los resultados de downscaling dinámico tienen una disponibilidad limitada. Mearns y otros, (2014) ofrecen una revisión de los métodos y sus fortalezas y debilidades. Actualmente, la forma más común de resolución fina de proyecciones climáticas procede de downscaling estadístico. El downscaling estadístico utiliza relaciones estadísticas entre los puntos de una malla con resolución fina en un conjunto de datos procedentes de observaciones para eliminar los sesgos (por ej., cambios en la media o en la distribución) de los resultados de los MCG, capturar relaciones meteorológicas locales e interpolarlas espacialmente a una resolución más fina. El downscaling con corrección de sesgos y espacialmente desagregado tiene como objetivo preservar el cambio climático proyectado (cambios en la media y en los extremos) de los resultados de los MCG para un periodo futuro (por ej., 2040-2065) con respecto al periodo de línea de base (en general, 1950-2005).

Los métodos empíricos de downscaling estadístico utilizan relaciones entre diferentes escalas que se han obtenido de datos procedentes de observaciones y las aplican a los datos de modelos climáticos. Los métodos de downscaling estadístico tienen la ventaja de no ser costosos en términos computacionales, capaces de acceder a escalas más finas que los métodos dinámicos y aplicables a parámetros que no pueden obtenerse de forma directa a partir de los resultados de downscaling dinámico. Requieren datos procedentes de observaciones en la escala deseada para un periodo lo suficientemente largo que permita que el método esté correctamente probado y validado. Esto significa que los datos sometidos a downscaling pueden no tener una corrección de sesgos eficaz en áreas donde las mediciones del tiempo meteorológico son escasas. Las principales desventajas de los métodos de downscaling estadístico son que asumen que las relaciones a distintas escalas obtenidas permanecen estables cuando el clima es perturbado, no pueden admitir de forma eficaz los datos regionales y, algunos métodos, pueden carecer de coherencia entre múltiples variables climáticas. (IPCC, 2007).

No abundan los sitios de internet que ofrecen datos climáticos sometidos a downscaling. Diversos países han apoyado esfuerzos locales de downscaling. La Tabla AE.4.1 enumera algunas de las fuentes de datos climáticos con downscaling más importantes.

AE.4. Preguntas frecuentes

P. ¿En qué se diferencian los distintos MCG?

R. Si bien existen numerosas similitudes entre los modelos (reflejan el estado actual de la ciencia), las diferencias surgen en los detalles más finos (por ej., cómo simulan los procesos de generación de nubes o de retroalimentación, diferencias en procesos acoplados atmósfera-oceano) y, por lo tanto, presentan diferencias en los resultados proyectados. Si bien esto puede parecer desconcertante, estas diferencias pueden salvarse utilizando un enfoque de ensamblaje de modelos (donde los resultados proyectados son tratados como resultados igualmente probables) similar al realizado con las predicciones meteorológicas.

P. ¿Debo utilizar un único modelo o el promedio de un ensamblaje multimodelo?

R. En numerosos casos en los que se requiere respaldar decisiones o existen necesidades de tipo analítico, se recomienda recurrir a ensamblajes multimodelo (tal como lo sugieren Daniels y otros, 2012, Mote y otros, 2011, y Snover y otros, 2013). En este enfoque, la media del ensamblaje multimodelo ofrece información sobre el resultado futuro más probable y las diferencias dentro del ensamblaje de modelos ofrecen información sobre la incertidumbre.

Alternativamente, debido a que los extremos pueden ser importantes en términos de la toma de decisiones o del análisis (por ej., los escenarios pesimistas son importantes en el diseño, la planificación y el análisis de riesgos en infraestructura de alto valor), se puede recurrir a un estudio de escenarios optando por analizar diversos modelos que son extremos con respecto al espectro completo de va-

riación de modelos. Debido a la incertidumbre asociada a los MCG, a menudo resulta aconsejable no utilizar el modelo más extremo sino uno que se encuentre cerca del extremo superior (por ej., el percentil 90°) del rango de la variable de interés.

P. ¿Cómo determino cuál es la proyección climática más acertada? ¿Cuán acertadas son las proyecciones?

R. Gran parte del análisis y de la literatura científica publicada sobre la utilización de modelos climáticos sugiere que es inútil intentar identificar el escenario climático “más acertado” debido a las incertidumbres respecto de las emisiones futuras de gases de efecto invernadero, a las incertidumbres asociadas a los modelos y a otros factores. Los factores que más inciden en la incertidumbre son el conocimiento imperfecto de (1) los disparadores del cambio, principalmente las fuentes y sumideros de gases de efecto invernadero y aerosoles antropogénicos, (2) la respuesta del sistema climático a esos disparadores y (3) del modo en que la variabilidad no forzada puede enmascarar la respuesta forzada a dichos disparadores. La capacidad de los modelos individuales de simular el clima histórico puede no reflejar fielmente su capacidad de simular el clima futuro, es por ello que es importante utilizar múltiples modelos al planificar.

Los proyectos de downscaling tienen como objetivo aumentar la precisión (no la certeza) ya que ofrecen información a escalas regionales. No reducen las incertidumbres ya mencionadas.

Además de las consideraciones con respecto a la incertidumbre, Snover y otros (2013) destacan que “los escenarios más apropiados para un determinado análisis no necesariamente los son para otro debido a diferencias en los disparadores del clima local, las relaciones biofísicas con el clima, las características de las decisiones y el grado de eficacia con que el modelo simula los parámetros y procesos climáticos de interés.”

Snover y otros enuncian lo siguiente: “Debido a estas complejidades, recomendamos la interacción entre los científicos del clima, de la naturaleza y de la física y los responsables de tomar decisiones durante todo el proceso de elección y utilización de escenarios de cambio climático para la evaluación de impactos ecológicos.”

Tabla AE.4.1. Selección de fuentes que ofrecen datos climáticos sometidos a downscaling y modelos de impacto

Fuente	Descripción
NASA Earth Exchange Global Daily Downscaled Projections (NEX-GDDP).	El conjunto de datos de NASA Earth Exchange Global Daily Downscaled Projections (NEX-GDDP) está integrado por escenarios climáticos sometidos a downscaling para todo el mundo obtenidos al ejecutar modelos de circulación general bajo la Fase 5 del Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados (CMIP5) y en dos de los cuatro escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero conocidos como Trayectorias de Concentración Representativas (RCP, por sus siglas en inglés).
Datos climáticos globales sometidos a downscaling de E. P. Maurer (Universidad de Santa Clara).	Maurer sometió a downscaling 150 años de datos climáticos globales, desde 1950 a 2099, de la Fase 3 del Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados (CMIP3) del Programa Mundial de Investigación del Clima (WCRP, por sus siglas en inglés) utilizando un método de corrección de sesgos/downscaling espacial.
Consultative Group for International Agricultural Research (CGIAR).	El portal de datos CCAFS-Climate ofrece conjuntos de datos regionales y globales de alta resolución sobre el clima futuro que sirven como base para evaluar los impactos del cambio climático y la adaptación a ellos en diversos campos incluida la biodiversidad, la producción agropecuaria, los servicios ecosistémicos y la hidrología. Los datos distribuidos aquí están en formato ARC GRID y ARC ASCII, en grados decimales y dato WGS84.

Tabla AE.4.1. Selección de fuentes que ofrecen datos climáticos sometidos a downscaling y modelos de impacto

Fuente	Descripción
Climate Change Knowledge Portal (CCKP).	El portal CCKP del Banco Mundial es una central de información, de datos y de informes sobre el cambio climático en todo el mundo. Incluye datos climáticos históricos, proyectados y por sector.
Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados (ISIMIP).	El ISIMIP se enfoca en modelos de impacto climático. Ofrece resultados de experimentos de modelos de simulación que convierten resultados de MGC en predicciones de caudal, calidad del agua, respuestas ecológicas, riesgos de desastres y demás.

Tabla AE.4.2: Modelos Climáticos Globales/Modelos de Circulación General (MCG)

Programa	Desarrollado por	Disponible en	Descripción
ACCESS1.3	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO) y Bureau of Meteorology (BOM)	Earth System Grid Federation/Departamento de Energía	El simulador Australian Community Climate and Earth System Simulator (ACCESS) es un Modelo del Sistema Terrestre (MST) que se amplió para incluir componentes del ciclo del carbono terrestre y oceánico para evaluar el impacto climático y realizar análisis sobre adaptación.
BCC_CSM1.1(m)	Beijing Climate Center (BCC)	Beijing Climate Center (BCC)	Modelo totalmente acoplado de clima global-carbono con una resolución atmosférica de 1m. El modelo acopla BCC_AGCM2.1, el componente atmosférico, MOM4-L40, el componente oceánico, BCC_AVIM1.0, el componente terrestre, y SIS, el componente de hielo.
CCSM4	National Center for Atmospheric Research (NCAR)	National Center for Atmospheric Research (NCAR)	El Community Climate System Model (CCSM) es un modelo climático que simula los sistemas climáticos presentes, pasados y futuros de la Tierra acoplando cuatro modelos distintos (atmosférico, oceánico, superficie terrestre y hielo oceánico)
CESM1.2z	National Science Foundation (NSF), Departamento de Energía (DOE), National Center for Atmospheric Research (NCAR)	National Science Foundation (NSF) y National Center for Atmospheric Research (NCAR)	El Community Earth System Model (CESM) es un modelo climático global totalmente acoplado que simula el estado climático de la Tierra en diferentes momentos. CESM incorpora componentes de 6 modelos: atmósfera, tierra, hielo oceánico, hielo terrestre y río. Los datos de entrada están disponibles en un repositorio público de datos de entrada de subversión.
CSIRO-Mk3.6.0	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO) y Queensland Climate Change Centre of Excellence (QCCCE)	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO)	El modelo climático global CSIRO Mark 3.6 (Mk3.6) (MCG) fue desarrollado a partir de la versión anterior Mk3.5. Es un modelo acoplado de atmósfera-oceano con hielo oceánico dinámico. También tiene un esquema de suelo-dosel arbóreo con propiedades prescriptas de la vegetación. Los modelos oceánico, hielo oceánico y suelo-dosel arbóreo no cambian entre Mk3.5 y Mk3.6. Las principales diferencias entre estas dos versiones son la inclusión de un tratamiento interactivo de aerosoles y un esquema de radiación actualizado en Mk3.6.
GEOS-5	NASA Global Modeling and Assimilation Office (GMAO)	National Aeronautics and Space Administration (NASA) Global Modeling and Assimilation Office (GMAO)	El modelo Atmosphere-Ocean General Circulation Model (AOGCM) del sistema del Goddard Earth Observing System Model versión 5 (GEOS-5) es un modelo totalmente acoplado con capacidades de predicción para estados de la atmósfera, de la tierra, del océano y del hielo.

Tabla AE.4.2: Modelos Climáticos Globales/Modelos de Circulación General (MCG)

Programa	Desarrollado por	Disponible en	Descripción
GFDL-CM3	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL)	National Oceanographic and Atmospheric Administration (NOAA) Geophysical Fluid Dynamics Laboratory	Modelo climático global acoplado que incluye procesos modelados más finos que su predecesor, como convección de cumulus profunda y somera, activación de gotitas de nube por aerosoles, química atmosférica originada por emisiones con transporte advectivo, convectivo y turbulento y un componente de vegetación dinámico nuevo.
GFDL-ESM2G	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL)	National Oceanographic and Atmospheric Administration (NOAA) Geophysical Fluid Dynamics Laboratory	Primeros Modelos del Sistema Terrestre de GFDL que amplían nuestro entendimiento de cómo interactúan con el sistema climático los ciclos biogeoquímicos de la Tierra, incluidas las acciones humanas. Igual que los modelos climáticos físicos de GFDL, estas herramientas de simulación se basan en un modelo de circulación atmosférica acoplado con un modelo de circulación oceánica, con representaciones de la dinámica de tierra, hielo oceánico, iceberg. Los MST incorporan biogeoquímica interactiva, incluido el ciclo del carbono.
GISS-E2-H	Goddard Institute for Space Studies (GISS) de la NASA	National Aeronautics and Space Administration (NASA) Global Modeling and Assimilation Office (GMAO)	El modelo climático global (MCG) ModelE del Goddard Institute for Space Studies (GISS) es un modelo de atmósfera-oceano acoplado que simula diferentes configuraciones de los Modelos del Sistema Terrestre (MST), incluidos componentes interactivos de química atmosférica, aerosoles, ciclo del carbono y atmósfera estándar, océano, hielo oceánico y superficie terrestre.
HadGem2-ES	Met Office Hadley Centre (MOHC), realizaciones adicionales de HadGEM2-ES aportadas por Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)	European Network for Earth System Modelling	El Hadley Centre Global Environment Model versión 2 (HadGem2-ES) es un MST acoplado e incluye un componente del sistema terrestre como componente estándar y una extensión vertical en la atmósfera para obtener una estratósfera bien resuelta. Los sistemas terrestres incluidos en el componente son vegetación dinámica, biología oceánica y química atmosférica.
IPSL-CM5A-LR	Institut Pierre Simon Laplace	European Network for Earth System Modeling (ENES)	Modelo que tiene como componentes 5 modelos que representan el clima del sistema terrestre y su ciclo de carbono: LMDz (atmósfera), NEMO (océano, biogeoquímica oceánica y hielo oceánico), ORCHIDEE (vegetación y superficies continentales) e INCA (química atmosférica), acoplados mediante OASIS. IPSLESM, disponible en diferentes configuraciones en diferentes resoluciones, está en permanente evolución para reflejar la ciencia climática numérica más avanzada. IPSL-CM5 se utiliza en aproximadamente 50 proyectos europeos y más de 550 proyectos acceden a su base de resultados del IPCC.
MIROC5	University of Tokyo, Atmosphere and Ocean Research Institute (AORI), National Institute for Environmental Studies, Tsukuba, Japón (NIES) y Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC)	Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados (ISIMIP)	Recientemente se desarrolló una nueva versión del modelo de circulación general atmósfera-oceano producido en conjunto por la comunidad de investigación de Japón, conocido como Model for Interdisciplinary Research on Climate (MIROC). Se realizó un experimento de control que duró todo el siglo utilizando la nueva versión (MIROC5) con la resolución estándar T85 del modelo de la atmósfera y de 1 grado del modelo oceánico.

Tabla AE.4.2: Modelos Climáticos Globales/Modelos de Circulación General (MCG)

Programa	Desarrollado por	Disponible en	Descripción
MIROC-ESM	University of Tokyo, Atmosphere and Ocean Research Institute (AORI), National Institute for Environmental Studies, Tsukuba, Japón (NIES) y Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC)	NASA Earth Exchange Global Daily Downscaled Projections (NEX-GDDP)	Modelo del Sistema Terrestre denominado “MIROC-ESM” (Model for Interdisciplinary Research on Climate - Earth System Model). MIROC acopla interactivamente un modelo completo de circulación general atmosférica (MIROC-AGCM) que incluye un componente de aerosoles en línea (SPRINTARS), un MCG oceánico con componente de hielo oceánico (COCO) y un modelo de superficie terrestre (MATSIRO). Estos componentes de atmósfera, océano y superficie terrestre, como así también una rutina de ríos, están acoplados por un flujo. Sobre la base de MIROC, MIROC-ESM incluye además un componente de química atmosférica (CHASER), un componente de ecosistema oceánico de tipo nutriente-fitoplancton-zooplancton-detrito (NPZD) y un componente de ecosistemas terrestres que trata la vegetación dinámica (SEIB-DGVM).
MPI-ESM-LR	Max Planck Institute for Meteorology (MPI-M)	Max Planck Institute for Meteorology (MPI-M)	El modelo MPI-ESM-LR está compuesto por modelos de circulación general de la atmósfera y el océano y modelos de subsistemas para tierra y vegetación y bioquímica marina. Esta versión del modelo incluye un componente de vegetación dinámica y un enfoque de transición en el uso del suelo para cambios antropogénicos en la cobertura terrestre.
MRI-CGCM3	Meteorological Research Institute (MRI), Tsukuba, Japón	Data Distribution Center del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC)	Este modelo es una actualización global del modelo climático anterior del MRI serie MRI-CGCM2. MRI-CGCM3 está compuesto por modelos de atmósfera-tierra, aerosoles y hielo oceánico y es un subconjunto del modelo del sistema terrestre de MRI llamado MRI-ESM1. El componente atmosférico de MRI-AGCM3 está acoplado interactivamente con el modelo de aerosoles para representar los efectos directos e indirectos de los aerosoles con un nuevo esquema de microfísica de nubes.
NCEP-CFSv2	Center for Ocean-Land-Atmosphere (COLA) Studies y National Centers for Environmental Prediction (NCEP)	National Center for Environmental Prediction (NCEP) - Sistema de Pronóstico Climático	Modelo totalmente acoplado que representa las interacciones entre la atmósfera terrestre, los océanos, la tierra y el hielo oceánico. La versión más reciente asegura continuidad del registro climático y ofrece un valioso conjunto de datos actualizados y pronósticos estacionales y subestacionales mejorados.
NorESM1-M	Proyecto de investigación sobre el clima multi institucional y coordinado en Noruega, fundado por el Consejo de Investigación de Noruega para el periodo 2011-2014	European Network for Earth System Modeling (ENES)	Versión central del Modelo del Sistema Terrestre del Centro Noruega del Clima, llamado NorESM1-M. La familia de modelos NorESM se basa en la versión 4 del Community Climate System Model (CCSM4) de la University Corporation for Atmospheric Research, pero difiere de este último por un modelo oceánico de coordenada isopícnica y esquemas avanzados de interacción química-aerosoles-nubes-radiación. NorESM1-M tiene una resolución horizontal aproximada de 2° para los componentes atmosféricos y terrestres y de 1° para los componentes de océano y hielo.

Apéndice F: Módulo de vulnerabilidad

La Metodología aborda numerosos aspectos para determinar la vulnerabilidad de un proyecto. Este Apéndice describe algunos de esos aspectos con mayor detalle, específicamente los siguientes:

- Funciones de vulnerabilidad
- Funciones de víctimas de Hazus
- Inspecciones físicas
- Estudios económicos

AF.1. Funciones de vulnerabilidad

Las funciones de vulnerabilidad permiten generar un daño o pérdida para una estructura o porción de infraestructura conociendo la magnitud de la amenaza que la impacta. Por ejemplo, una función de vulnerabilidad al daño en función de la profundidad de inundación toma la profundidad de la inundación que actúa sobre una estructura específica y la convierte en un porcentaje de daño. Otras computan una probabilidad de estado de daño utilizando la fuerza y duración de la amenaza. Se han desarrollado funciones de daño en función de la profundidad para modelar diferentes tipos de inundación y numerosos tipos distintos de estructuras. También hay funciones de vulnerabilidad que convierten aceleración del suelo, velocidades de viento, longitud de llama, flujo de tsunamis y volúmenes de deslizamiento de tierra. A continuación presentamos un ejemplo de función de vulnerabilidad para viento huracanado. El tipo y las características del edificio modifican la función de vulnerabilidad junto con el tipo de terreno alrededor de la estructura. A mayor nivel de detalle identificable por el evaluador de riesgo, mayor será la precisión en el desarrollo o en la selección de la función de vulnerabilidad. La Tabla AF.1 ofrece ejemplos de funciones de vulnerabilidad disponibles. Algunas se crean utilizando estadísticas de numerosos eventos, otras un enfoque de modelo físico utilizando cargas en estructuras y fallas de componentes estructurales pronosticadas, y otras se desarrollan recurriendo a expertos.

Si no existen funciones de vulnerabilidad, se las puede desarrollar. Existen dos procedimientos principales para desarrollar funciones de vulnerabilidad. (1) Utilizar un enfoque estadístico y (2) utilizar un modelo de daño físico y pérdida.

Los enfoques estadísticos requieren obtener una gran cantidad de datos sobre pérdidas después de ocurrido un desastre. La función de vulnerabilidad se define como “una curva continua que asocia la intensidad de la amenaza (eje X) con la respuesta de daño de un edificio (eje Y) (Tarbotton y otros, 2015). Las curvas de vulnerabilidad (funciones) se enfocan principalmente en el grado de pérdida y no en la probabilidad (como las curvas de fragilidad) y es por ello requieren una gran cantidad de datos empíricos para ser confiables. En el caso de las amenazas que afectan una gran cantidad de edificios (por ej., terremotos, inundaciones), los datos empíricos suelen ser suficientes. Para otras amenazas, no obstante, éste no siempre es el caso. Los datos sobre magnitud de la amenaza y daño se requieren para todos los tipos de edificios evaluados. En el caso de algunas amenazas es fácil obtener esta información pero en otros casos no. La interpolación de información sobre intensidad en toda la zona de impacto puede aumentar de forma significativa en nivel de incertidumbre (Rheinberger y otros, 2013; Tarbotton y otros, 2015).

Un modelo de daño físico y pérdida compara la carga generada por la amenaza con la resistencia de la estructura. Los componentes de la estructura que son vulnerables a la amenaza son analizados por

ingenieros estructurales para determinar la fuerza requerida para que se produzca la falla y cómo esa falla impacta otras partes de la estructura. Si existen fallas y cargas adicionales aplicadas, la simulación continúa. Este proceso puede ser necesario para amenazas que no ocurren con frecuencia.

Figura AF.1. Función de vulnerabilidad para viento huracanado

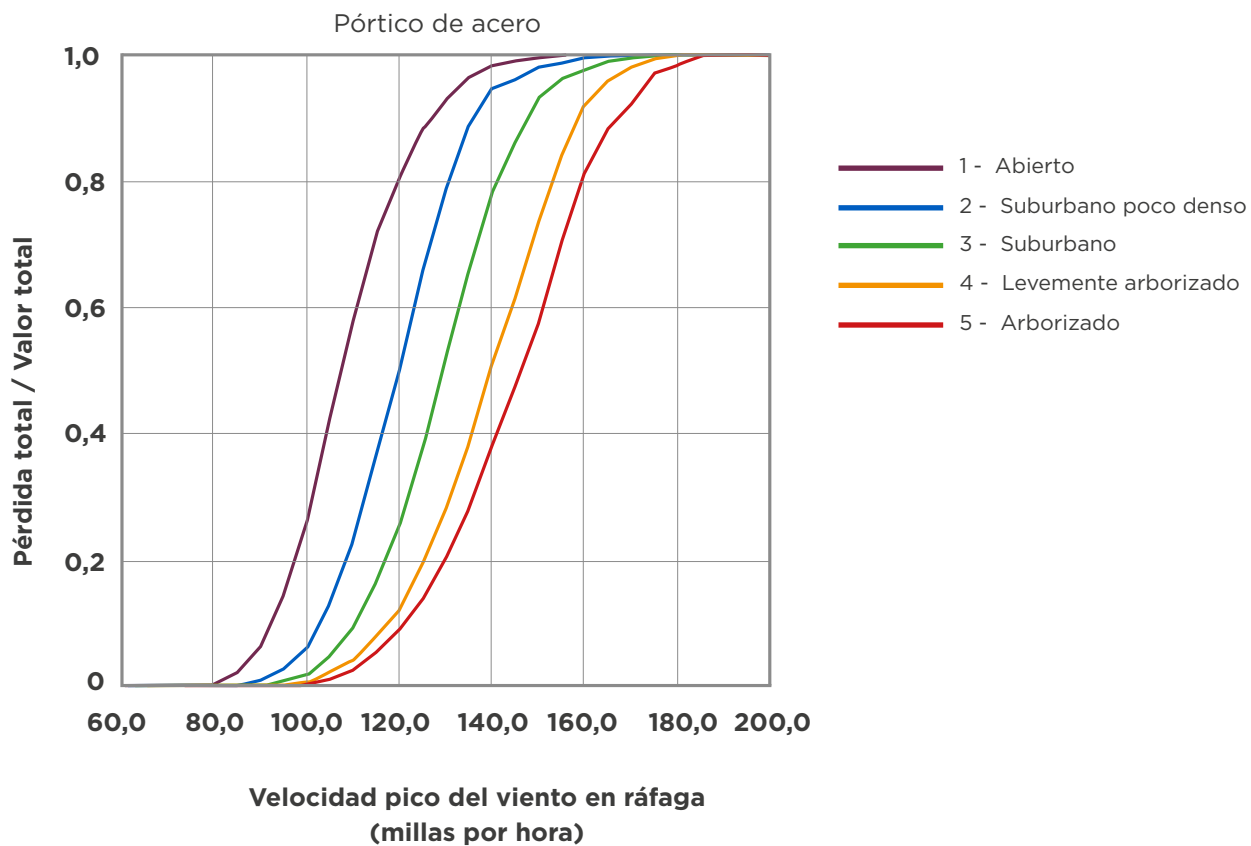


Tabla AF.1: Ejemplos de función de vulnerabilidad

Amenaza	Fuente	Enlace
Inundación	Cuerpo de ingenieros del ejército de EE.UU.	http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a255462.pdf
	U.S. Federal Insurance Administration	https://www.fema.gov/media-library/assets/documents/24609
	U.S. FEMA (Hazus)	https://www.fema.gov/media-library/assets/documents/24609
	Multi-Coloured Manual del Reino Unido	https://www.mcm-online.co.uk/
	Modelo JRC	http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC105688
	Modelo Flemish	s/d
	Scanner de daños	s/d
	FLEMO	http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/risa.12650/full
	CAPRA	https://www.ecapra.org/topics/ern-flood
Viento	U.S. FEMA (Hazus)	https://www.fema.gov/media-library/assets/documents/24609
	CAPRA	https://www.ecapra.org/topics/ern-hurricane
	Florida International University	https://www4.cis.fiu.edu/hurricane/loss/html/model001.html#10
Terremoto	ATC-63	https://www.atcouncil.org/atc-63
	FEMA/NIBS/RMS (Hazus)	https://www.fema.gov/media-library/assets/documents/24609
	FEMA 757	https://www.fema.gov/media-library/assets/documents/757
	Vision2000	http://www.seaoc.org/page/2015SSDMV2
	CAPRA	https://www.ecapra.org/topics/earthquake
	GEM	https://www.globalquakemodel.org/
Incendio	U.S. Forest Service	https://www.fs.fed.us/wwetac/old/projects/vaillant.html
Deslizamiento de tierra	Geological Society of London	http://qj.egh.lyellcollection.org/user/logout?current=node/13382
Tsunami	U.S. FEMA (Hazus)	https://www.fema.gov/media-library/assets/documents/24609

AF.2. Funciones de víctimas de Hazus

En todos los tipos edilicios, una estructura levemente dañada causaría 0,5 víctimas de nivel 1 por cada 1.000 personas. Se identifican cuatro niveles distintos de víctimas:

Nivel 1: Lesión, no se requiere hospitalización

Nivel 2: Lesión, se requiere hospitalización

Nivel 3: Lesión potencialmente mortal, se requiere hospitalización

Nivel 4: Muerte

Utiliza la siguiente tabla para calcular las víctimas a causa de una estructura moderadamente dañada. Los valores representan víctimas por cada 1.000 personas.

Tabla AF.2.1. Evaluación de víctimas a causa de una estructura moderadamente dañada con base en el tipo de edificio (Hazus 4.2, 2018)

Tipo de edificio	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4
Madera, estructura ligera (= 5.000 pies cuadrados)	2,5	0,3	0	0
Madera, madera comercial e industrial (>5.000 pies cuadrados)	2	0,25	0	0
Pórticos de acero resistente al momento, baja altura	2	0,25	0	0
Pórticos de acero resistente al momento, altura media	2	0,25	0	0
Pórticos de acero resistente al momento, altura elevada	2	0,25	0	0
Pórticos de acero arriostrados, baja altura	2	0,25	0	0
Pórticos de acero arriostrados, altura media	2	0,25	0	0
Pórticos de acero arriostrados, altura elevada	2	0,25	0	0
Pórtico de acero ligero	2	0,25	0	0
Pórtico de acero con muros de cortante de concreto vaciados en sitio, altura baja	2,5	0,3	0	0
Pórtico de acero con muros de cortante de concreto vaciados en sitio, altura media	2,5	0,3	0	0
Pórtico de acero con muros de cortante de concreto vaciados en sitio , altura elevada	2,5	0,3	0	0
Pórtico de acero con muros de mampostería no reforzados, altura baja	2	0,25	0	0
Pórtico de acero con muros de mampostería no reforzados, altura media	2	0,25	0	0
Pórtico de acero con muros de mampostería no reforzados, altura elevada	2	0,25	0	0
Pórticos de concreto resistente al momento, baja altura	2,5	0,3	0	0
Pórticos de concreto resistente al momento, altura media	2,5	0,3	0	0
Pórticos de concreto resistente al momento, altura elevada	2,5	0,3	0	0
Muros de cortante de concreto, altura baja	2,5	0,3	0	0
Muros de cortante de concreto, altura media	2,5	0,3	0	0
Muros de cortante de concreto, altura elevada	2,5	0,3	0	0
Pórticos de concreto con muros de mampostería no reforzados, altura baja	2	0,25	0	0
Pórtico de concreto con muros de mampostería no reforzados, altura media	2	0,25	0	0
Pórtico de concreto con muros de mampostería no reforzados, altura elevada	2	0,25	0	0
Muros de concreto prefabricados “tilt-up”	2,5	0,3	0	0
Pórticos de concreto prefabricado con muros de cortante de concreto, altura baja	2,5	0,3	0	0
Pórticos de concreto prefabricado con muros de cortante de concreto, altura media	2,5	0,3	0	0
Pórticos de concreto prefabricado con muros de cortante de concreto, altura elevada	2,5	0,3	0	0
Muros portantes de mampostería reforzados con diafragmas de madera o metal, baja altura	2	0,25	0	0
Muros portantes de mampostería reforzados con diafragmas de madera o metal, altura media	2	0,25	0	0
Muros portantes de mampostería reforzados con diafragmas de madera o metal, altura elevada	2	0,25	0	0
Muros portantes de mampostería reforzados con diafragmas de concreto prefabricado, altura media	2	0,25	0	0
Muros portantes de mampostería reforzados con diafragmas de concreto prefabricado, altura elevada	2	0,25	0	0
Muros portantes de mampostería no reforzados, altura baja	3,5	0,4	0,01	0,01
Muros portantes de mampostería no reforzados, altura elevada	3,5	0,4	0,01	0,01
Casa prefabricada	2,5	0,3	0	0

Utiliza la siguiente tabla para calcular las víctimas a causa de una estructura severamente dañada. Los valores representan víctimas por cada 1.000 personas.

Tabla AF.2.2. Evaluación de víctimas a causa de una estructura severamente dañada con base en el tipo de edificio (Hazus 4.2, 2018)

Tipo de edificio	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4
Madera, estructura ligera (= 5.000 pies cuadrados)	10	1	0,01	0,01
Madera, madera comercial e industrial (>5.000 pies cuadrados)	10	1	0,01	0,01
Pórticos de acero resistente al momento, baja altura	10	1	0,01	0,01
Pórticos de acero resistente al momento, altura media	10	1	0,01	0,01
Pórticos de acero resistente al momento, altura elevada	10	1	0,01	0,01
Pórticos de acero arriostrados, baja altura	10	1	0,01	0,01
Pórticos de acero arriostrados, altura media	10	1	0,01	0,01
Pórticos de acero arriostrados, altura elevada	10	1	0,01	0,01
Pórtico de acero ligero	10	1	0,01	0,01
Pórtico de acero con muros de cortante de concreto vaciados en sitio, altura baja	10	1	0,01	0,01
Pórtico de acero con muros de cortante de concreto vaciados en sitio, altura media	10	1	0,01	0,01
Pórtico de acero con muros de cortante de concreto vaciados en sitio, altura elevada	10	1	0,01	0,01
Pórtico de acero con muros de mampostería no reforzados, altura baja	10	1	0,01	0,01
Pórtico de acero con muros de mampostería no reforzados, altura media	10	1	0,01	0,01
Pórtico de acero con muros de mampostería no reforzados, altura elevada	10	1	0,01	0,01
Pórticos de concreto resistente al momento, baja altura	10	1	0,01	0,01
Pórticos de concreto resistente al momento, altura media	10	1	0,01	0,01
Pórticos de concreto resistente al momento, altura elevada	10	1	0,01	0,01
Muros de cortante de concreto, altura baja	10	1	0,01	0,01
Muros de cortante de concreto, altura media	10	1	0,01	0,01
Muros de cortante de concreto, altura elevada	10	1	0,01	0,01
Pórticos de concreto con muros de mampostería no reforzados, altura baja	10	1	0,01	0,01
Pórtico de concreto con muros de mampostería no reforzados, altura media	10	1	0,01	0,01
Pórtico de concreto con muros de mampostería no reforzados, altura elevada	10	1	0,01	0,01
Muros de concreto prefabricados "tilt-up"	10	1	0,01	0,01
Pórticos de concreto prefabricado con muros de cortante de concreto, altura baja	10	1	0,01	0,01
Pórticos de concreto prefabricado con muros de cortante de concreto, altura media	10	1	0,01	0,01
Pórticos de concreto prefabricado con muros de cortante de concreto, altura elevada	10	1	0,01	0,01
Muros portantes de mampostería reforzados con diafragmas de madera o metal, baja altura	10	1	0,01	0,01
Muros portantes de mampostería reforzados con diafragmas de madera o metal, altura media	10	1	0,01	0,01
Muros portantes de mampostería reforzados con diafragmas de madera o metal, altura elevada	10	1	0,01	0,01
Muros portantes de mampostería reforzados con diafragmas de concreto prefabricado, altura media	10	1	0,01	0,01
Muros portantes de mampostería reforzados con diafragmas de concreto prefabricado, altura elevada	10	1	0,01	0,01
Muros portantes de mampostería no reforzados, altura baja	20	2	0,02	0,02
Muros portantes de mampostería no reforzados, altura elevada	20	2	0,02	0,02
Casa prefabricada	10	1	0,01	0,01

Utiliza la siguiente tabla para calcular las víctimas a causa de una estructura completamente dañada. Los valores representan víctimas por cada 1.000 personas.

Tabla AF.2.3. Evaluación de víctimas a causa de una estructura completamente dañada con base en el tipo de edificio (Hazus 4.2, 2018)

Tipo de edificio	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4
Madera, estructura ligera (= 5.000 pies cuadrados)	50	10	0,1	0,1
Madera, madera comercial e industrial (>5.000 pies cuadrados)	50	10	0,1	0,1
Pórticos de acero resistente al momento, baja altura	50	10	0,1	0,1
Pórticos de acero resistente al momento, altura media	50	10	0,1	0,1
Pórticos de acero resistente al momento, altura elevada	50	10	0,1	0,1
Pórticos de acero arriostrados, baja altura	50	10	0,1	0,1
Pórticos de acero arriostrados, altura media	50	10	0,1	0,1
Pórticos de acero arriostrados, altura elevada	50	10	0,1	0,1
Pórtico de acero ligero	50	10	0,1	0,1
Pórtico de acero con muros de cortante de concreto vaciados en sitio, altura baja	50	10	0,1	0,1
Pórtico de acero con muros de cortante de concreto vaciados en sitio, altura media	50	10	0,1	0,1
Pórtico de acero con muros de cortante de concreto vaciados en sitio, altura elevada	50	10	0,1	0,1
Pórtico de acero con muros de mampostería no reforzados, altura baja	50	10	0,1	0,1
Pórtico de acero con muros de mampostería no reforzados, altura media	50	10	0,1	0,1
Pórtico de acero con muros de mampostería no reforzados, altura elevada	50	10	0,1	0,1
Pórticos de concreto resistente al momento, baja altura	50	10	0,1	0,1
Pórticos de concreto resistente al momento, altura media	50	10	0,1	0,1
Pórticos de concreto resistente al momento, altura elevada	50	10	0,1	0,1
Muros de cortante de concreto, altura baja	50	10	0,1	0,1
Muros de cortante de concreto, altura media	50	10	0,1	0,1
Muros de cortante de concreto, altura elevada	50	10	0,1	0,1
Pórticos de concreto con muros de mampostería no reforzados, altura baja	50	10	0,1	0,1
Pórtico de concreto con muros de mampostería no reforzados, altura media	50	10	0,1	0,1
Pórtico de concreto con muros de mampostería no reforzados, altura elevada	50	10	0,1	0,1
Muros de concreto prefabricados "tilt-up"	50	10	0,1	0,1
Pórticos de concreto prefabricado con muros de cortante de concreto, altura baja	50	10	0,1	0,1
Pórticos de concreto prefabricado con muros de cortante de concreto, altura media	50	10	0,1	0,1
Pórticos de concreto prefabricado con muros de cortante de concreto, altura elevada	50	10	0,1	0,1
Muros portantes de mampostería reforzados con diafragmas de madera o metal, baja altura	50	10	0,1	0,1
Muros portantes de mampostería reforzados con diafragmas de madera o metal, altura media	50	10	0,1	0,1
Muros portantes de mampostería reforzados con diafragmas de madera o metal, altura elevada	50	10	0,1	0,1
Muros portantes de mampostería reforzados con diafragmas de concreto prefabricado, altura media	50	10	0,1	0,1
Muros portantes de mampostería reforzados con diafragmas de concreto prefabricado, altura elevada	50	10	0,1	0,1
Muros portantes de mampostería no reforzados, altura baja	100	20	0,2	0,2
Muros portantes de mampostería no reforzados, altura elevada	100	20	0,2	0,2
Casa prefabricada	50	10	0,1	0,1

AF.3. Inspección física

La inspección física es una herramienta que puede ayudar a evaluar la vulnerabilidad del proyecto, para obtener un panorama general o bien para utilizar en el desarrollo de una función de fragilidad o vulnerabilidad. Las siguientes tablas (Tablas AF.3.1 – AF.3.6) ofrecen un formato básico para recopilar información que puede obtenerse durante una visita de campo para entender mejor la vulnerabilidad general de los componentes del proyecto y recolectar información importante necesaria para generar o asignar una función de vulnerabilidad.

Tabla AF.3.1 Información general

Información general	
Nombre:	Superficie (metros cuadrados):
Tipo de construcción (materiales):	Ocupación:
Valor de reposición:	Valor del contenido:
Número de pisos:	Cantidad de ocupantes:
Energía de respaldo (sí/no):	
Característica	Amenaza
Altura del primer piso	Inundación, marea de tormenta, tsunami
Número de pisos	Inundación, marea de tormenta, tsunami, terremoto
Tipo de cimentación	Inundación, marea de tormenta, tsunami, terremoto
Protección contra inundación (y altura)	Inundación, marea de tormenta, tsunami
¿Diseño sismorresistente?	Terremoto
¿Actual mitigación (LFRS y otra)?	Todas las amenazas
Tipo de cubierta:	Viento huracanado
¿Persianas?	Viento huracanado
¿Correas contra huracanes?	Viento huracanado
¿Amarres?	Viento huracanado
¿Requiere agua?	Sequía y escasez de agua
¿Recalentamiento de equipos?	Ola de calor
¿Enfriamiento disponible?	Ola de calor
¿Vidrio resistente a impactos?	Viento huracanado

Las siguientes cinco tablas se enfocan en información detallada de la inspección que debe recopilar un ingeniero. Cada tabla corresponde a un tipo de proyecto diferente.

Tabla AF.3.2 Inspección detallada del servicio de suministro de agua

Tídar	Evaluación del suministro de agua
	Evaluar la construcción general de las estructuras de suministro de agua y compararlas con las estructuras circundantes. Debido a que las estructuras de suministro de agua pueden considerarse instalaciones críticas, se espera que sean igual o más robustas que las estructuras residenciales, comerciales e industriales de la región.
	¿Los componentes de la estructura de suministro de agua están rodeados de otras estructuras con menor calidad de construcción que podrían ser impactadas por amenazas naturales? En caso afirmativo, ¿podría dañarse la estructura de suministro de agua, quedar fuera de funcionamiento o inaccesible debido al impacto de la amenaza natural sobre estructuras circundantes?
	¿Cómo es la estructura de suministro de agua del proyecto en comparación con otras estructuras de suministro de agua de la región? Determinar si se siguieron prácticas de diseño y constructivas similares o si se mejoraron ciertas características.
	Entrevistar a los operadores y gerentes para determinar los requerimientos de diseño contemplados en la construcción de la estructura de suministro de agua y si este proceso está bien definido, es vago o no presente.
	Determinar, consultando al personal operativo, cuál es la duración esperada del impacto de diversas amenazas naturales.
	Determinar la cantidad de días de disponibilidad de almacenamiento si se interrumpe el suministro.
	Revisar la topografía del lugar para determinar la diferencia de elevación entre estructuras y cuerpos de agua cercanos. Ubicar indicaciones de evidencias físicas de fenómenos de inundación ocurridos en el pasado (erosión o cambios en la vegetación) y entrevistar al personal sobre fenómenos pasados de inundación o crecidas incluida la frecuencia.
	Revisar los diversos componentes de la estructura de suministro de agua para determinar niveles de redundancia dentro del sistema para poder identificar conexiones/componentes débiles. Evaluar si hay repuestos rápidamente disponibles dentro del stock propio, procedentes de proveedores locales o de otro origen. Determinar el tiempo estimado para obtener repuestos críticos.
	Determinar el nivel de apoyo regional dentro de la industria de suministro de agua y la capacidad de otros servicios de suministro de agua de brindar apoyo.
	Determinar si existen sistemas de suministro de emergencia. Determinar si el sistema de suministro de agua está interconectado con sistemas de suministro de agua adyacentes y, en caso afirmativo, determinar la limitación de la conexión de emergencia (límites de caudal, límites de dirección de flujo, es decir, suministro unidireccional o bidireccional).
	Si el sistema de suministro de agua ha estado en servicio por un periodo de tiempo, determinar si se han realizado reforzamientos para reafirmar el diseño original de estructuras o características del lugar de emplazamiento.
	Debido a que una parte importante de la estructura de suministro de agua está situada bajo rasante o no es accesible, revisar información operativa para determinar periodos de interrupción y causas.
	Evaluar si es probable que se pueda acceder al lugar donde está situada la infraestructura de suministro de agua durante y después de los sucesos debidos amenazas naturales.
	Evaluar la adaptabilidad del sistema de suministro de agua para pasar de funcionar en modo normal a modo de emergencia, por ejemplo:
	La capacidad de pasar de fuente primaria a fuente de reserva.
	La capacidad de la planta de tratamiento para cambiar su modo de funcionamiento para eludir temporariamente los componentes dañados. Determinar si hay instalados o disponibles sistemas de derivación de agua o sistemas que ofrezcan una solución temporal.
	Determinar el modo en que el nivel de servicio y operaciones se vería impactado si el tanque de almacenamiento se daña y queda fuera de servicio.
	Evaluar el nivel de redundancia de las redes de tuberías de transmisión y distribución. Identificar las porciones del área del servicio atendidas por sistemas de tuberías de distribución en malla o cerrados.

Tabla AF.3.3. Inspección detallada del servicio de gestión de aguas residuales

Tildar	Evaluación de la gestión de aguas residuales
	Verificar la elevación de las aberturas de tanques y otra infraestructura crítica con respecto a la cota de inundación de diseño.
	Verificar la integridad de los dispositivos instalados para asegurar estanqueidad (por ej., juntas flexibles en las caras del panel de electricidad, en el asiento de la tapa del pozo de registro y de las tapas de acceso a tanques).
	Inspeccionar el material de los componentes críticos como tapas de acceso, sistemas de extracción mediante bombas, postes de fijación, tanques y anclajes sobre rasante, etc.
	Verificar la integridad estructural general (buscar señales de falla, en especial luego de tormentas o fenómenos climáticos debidos a amenazas naturales).
	Realizar pruebas de estanqueidad de tanques y redes de tuberías.
	Inspeccionar las penetraciones de tubos en tanques y las elevaciones de la infraestructura subterránea para asegurar que los movimientos diferenciales no comprometieron las penetraciones ni causaron tensiones desparejas en las estructuras (nuevamente, en especial después de terremotos).
	Asegurarse de que haya fuentes de energía de reserva, con plena carga de combustible (generadores) y fáciles de conectar e iniciar y correctamente dimensionados para alimentar equipos críticos. Asegurarse de que haya combustible rápidamente disponible para alimentar generadores durante todo el periodo previsto de pérdida de potencia.
	Verificar que todos los elementos de diseño han sido instalados correctamente durante la construcción. Los conceptos mencionados deben ser inspeccionados de forma continua y se relacionan con sistemas existentes o ya instalados.

Tabla AF.3.4. Inspección detallada del sistema de drenaje

Tildar	Evaluación del drenaje
	Determinar el área de drenaje tratada por la práctica de gestión de aguas residuales. A mayor área de drenaje, mayor probabilidad de que la práctica se anegue o inunde durante eventos de gran escala.
	Determinar la superficie impermeable del área de drenaje. A mayor superficie impermeable, mayor el volumen de escorrentías que fluirá hacia la práctica. Las superficies impermeables más extensas tienen un periodo más breve de concertación e ingresarán mayores caudales a la práctica. Los mayores caudales pueden causar erosión en la práctica y a su alrededor.
	Evaluar la cantidad de infraestructura (tuberías, muros de retención, cuencas de drenaje, etc.) en la práctica y a su alrededor. A mayor cantidad de infraestructura, mayores posibilidades de falla.
	Considerar el tamaño de la superficie impermeable alrededor de la práctica. ¿La práctica está integrada a una calle o rodeada de edificios con sótanos?
	¿La cobertura del terreno es de un tipo de mantillo que podría flotar durante grandes fenómenos de lluvia?
	¿La vegetación incluida en la práctica es tolerante a la sequía o a la sal?
	¿Es probable que las escorrentías de aguas pluviales tratadas en la práctica tengan grandes cantidades de sólidos gruesos, elevada turbidez o elevada concentración de sedimentos?

Tabla AF.3.5. Inspección detallada del transporte

Tildar	Evaluación del transporte
	Para componentes viales de muros de contención y pavimento (los principales elementos a inspeccionar relacionados con muros de contención y pavimentos se asocian con la amenaza de falta de mantenimiento)
	Evidencia de rajaduras en el pavimento, baches y rugosidad; y
	Drenaje mal mantenido (zanjas sin despejar, erosión del talud lateral, etc.).
	Inundación - Bordo libre de la rasante con respecto a las proyecciones de la inundación de diseño y al diseño de la estructura de drenaje.
	Huracán - Comparar niveles de agua pronosticados (incluido el aumento del nivel del mar, marea de tormenta, etc.) con el bordo libre de la vía.
	Terremoto - Revisar registros geológicos subterráneos de suelos susceptibles a licuefacción y evidencia de fallas.
	Aumento de los niveles freáticos - Inspeccionar en busca de evidencia de niveles freáticos o de agua estancada si existen instrumentos para hacerlo.
	Examinar registros de mantenimiento de rutina y mantenimiento mayor de la vía, incluidos registros de inspección.
	Aspectos relacionados con puentes
	Elevación del intradós del tablero;
	Longitud del tramo del puente;
	Acumulación de escombros;
	Acumulación de sedimentos;
	Drenaje del tablero del puente;
	Señales de erosión en los estribos, cerca de los pilares; y
	Condición estructural e integridad del puente.
	Calcular el franco bordo utilizando el nivel de agua máximo esperado con base en la evaluación del escenario proyectado de cambio climático (tanto de inundación como de flujos de escombros);
	Evaluación del potencial de socavación en las zapatas o fundaciones del puente;
	Evaluación del comportamiento de las fundaciones del puente en condiciones sísmicas;
	Evaluación de estabilidad del talud retenido por el estribo del puente;
	Examinar registros de mantenimiento de rutina y mantenimiento mayor del puente, incluidos registros de inspección.
	Aspectos relacionados con alcantarillas
	Condición estructural;
	Obstrucciones por acumulación de sedimentos, escombros u otros materiales en la alcantarilla; y
	Comparar caudales de diseño y niveles de agua con la capacidad real de la alcantarilla.
	Aspectos de drenaje de la vía
	Obstrucciones debido a acumulación de sedimentos, escombros u otros materiales;
	Integridad física de la infraestructura de drenaje;
	Crecimiento de vegetación en cunetas;
	Condiciones mecánicas, eléctricas y estructurales de estructuras de control de nivel de agua;
	Comparar flujos de escorrentías con la capacidad real de la infraestructura de drenaje; y
	Evaluar configuraciones de estructuras de control de nivel de agua con respecto a los escenarios de cambio climático proyectados.
	Examinar registros de mantenimiento de rutina y mantenimiento mayor de cunetas, incluidos registros de inspección.

Tildar	Evaluación del transporte
Otros aspectos relacionados	
	Examinar mapas y evaluación de características de avalanchas. Evaluar características del diseño para mitigación de avalanchas de nieve (refugios, barreras de protección contra la nieve). Evaluar si la geometría de la vía es adecuada para el volumen de nieve; y
	Evaluar la susceptibilidad de la infraestructura vial a incendios (componentes de madera o combustibles).
	Examinar si la vía fue construida sobre sitios de deslizamiento de tierra activos o históricos.
	Examinar la norma de diseño de túneles aplicada al momento de ser construido y comparar los componentes de diseño de seguridad con la norma moderna. Desarrollar una lista de deficiencias de componentes no estándar o componentes que requieren mejoras.
	Examinar registros de mantenimiento de rutina y de mantenimientos mayores, incluidos registros de inspección de estructuras secundarias y activos viales incluidos, sin carácter restrictivo, túneles, taludes de roca, refugios y galerías de protección contra la nieve, muros de retención, pasos elevados y pasos inferiores y otras estructuras de mitigación de amenazas.

Tabla AF.3.6. Inspección detallada de infraestructura crítica

Tildar	Evaluación de infraestructura crítica
	Evaluar la construcción general de la infraestructura crítica y compararla con las estructuras circundantes. Se esperaría que las estructuras de instalaciones críticas sean igual o más robustas que las estructuras residenciales, comerciales e industriales de la región.
	¿Cómo es la estructura de las instalaciones críticas del proyecto en comparación con otras estructuras de uso similar de la región? Determinar si se siguieron prácticas de diseño y constructivas similares o si se mejoraron ciertas características.
	Revisar los diferentes componentes de la instalación crítica para determinar el nivel de redundancia. Evaluar si hay repuestos y materiales rápidamente disponibles dentro del stock propio, procedentes de proveedores locales o de otro origen. Determinar el tiempo estimado para obtener repuestos críticos.
	Determinar el nivel de apoyo regional y la capacidad de otras instalaciones de brindar apoyo.
	Evaluar si es probable que se pueda acceder al lugar donde está situada la infraestructura crítica durante y después de los sucesos debidos amenazas naturales.

AF.4. Estudio económico

Otra herramienta necesaria para desarrollar una función de pérdidas indirectas (similar a las funciones de vulnerabilidad o fragilidad para daños/pérdidas directas), que también es parte del módulo de vulnerabilidad, es el estudio económico. La siguiente información debe recopilarse para realizar un estudio económico detallado. En un estudio general se adoptan supuestos cuando no hay respuestas. En el caso de algunas amenazas, las pérdidas por interrupción del negocio constituyen la mayoría de la pérdida, mientras que en el caso de otras amenazas es importante entender y poder calcular esas pérdidas. En este estudio las pérdidas económicas por interrupción del negocio se identificaron del siguiente modo: (1) gastos de reubicación; (2) pérdidas de ingresos por rentas; (3) pérdidas relacionadas con capital, producción y empleo; y (4) pérdida de salarios. La interrupción total del negocio es una combinación de las cuatro pérdidas.

Tabla AF.4.1. Estudio económico

Pérdidas por reubicación y de rentas	
Tiempo de recuperación (días):	$\text{Pérdida por reubicación} = \text{Interrupción} + \text{Tiempo de recuperación} \times \text{Costos de arrendamiento}$ $\text{Pérdida de ingresos por rentas} = \text{Tiempo de recuperación} \times \text{Costos de arrendamiento}$
Costos de interrupción (USD):	
Costos de arrendamiento (USD/Día):	
Pérdidas relacionadas con capital, producción y empleo	
Ingresos por día:	$\text{Pérdida de capital} = (1 - \text{Factor de recaptura de ingresos}) \times \text{Ingresos por día} \times \text{Tiempo de recuperación}$
Factor de recaptura de ingresos*:	
*El factor de recaptura de ingresos es el monto de ingresos que el negocio puede recuperar durante y después del suceso.	
Pérdida de salarios	
Salario diario	$\text{Pérdida de salario} = (1 - \text{Factor de recaptura de salarios}) \times \text{Salario diario} \times \text{Tiempo de recuperación}$
Factor de recaptura de salario*:	
*El factor de recuperación de salario es el monto de salario que el negocio puede recuperar durante y después del suceso.	

Apéndice G: Opciones de mitigación del riesgo

AG.1. Opciones de mitigación de la amenaza por sequía

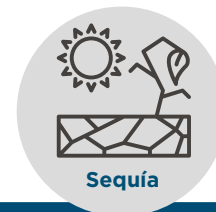


Tabla AG.1. Planificación

Tipo	Opción
Evaluar la vulnerabilidad al riesgo de sequía	Recopilar y analizar datos sobre el agua y el clima para entender mejor los antecedentes climáticos y de sequía locales.
	Identificar factores que inciden en la severidad de una sequía.
	Identificar reservas de agua disponibles.
	Determinar cómo la comunidad y sus fuentes de agua han sido impactadas por sequías ocurridas en el pasado.
Monitorear las condiciones de sequía	Identificar indicadores de sequía locales, como precipitaciones, temperatura, niveles de agua superficial, humedad del suelo, etc.
	Establecer un cronograma de monitoreo regular e informar condiciones al menos mensualmente.
Monitorear el suministro de agua	Verificar con regularidad que no existan filtraciones para minimizar las pérdidas en el suministro de agua.
	Mejorar el monitoreo del suministro de agua.
Plan para sequías	Desarrollar un plan de emergencia de sequía.
	Desarrollar criterios o establecer disparadores para accionar con relación a una sequía.
	Desarrollar un plan de comunicación sobre sequías y un sistema de alerta temprana para facilitar una comunicación oportuna de información relevante a los funcionarios, a los responsables de tomar decisiones, a quienes están a cargo de gestionar ante emergencias y al público en general.
	Desarrollar acuerdos para tener fuentes de agua secundarias que puedan utilizarse mientras persistan las condiciones de sequía.
	Establecer un programa de horarios/cronogramas de riego para que todo el terreno agrícola reciba la cantidad de agua necesaria.
Exigir el ahorro de agua mientras persistan las condiciones de sequía	Desarrollar una ordenanza que restrinja el uso de recursos hídricos públicos para uso no esencial.
	Adoptar ordenanzas para priorizar o controlar el uso de agua, en particular para situaciones de emergencia como la extinción de incendios.
Impedir el pastoreo excesivo	Establecer una política de pastoreo o un programa de permisos para evitar el pastoreo excesivo.
	Reducir la cantidad de animales y mejorar el manejo de pasturas.

AG.2. Opciones de mitigación de la amenaza por terremoto

AG.2.1. Opciones generales de mitigación de la amenaza por terremoto



Tabla AG.2. Opciones de planificación

Tipo	Opción
Adoptar y hacer cumplir códigos de construcción	Adoptar y hacer cumplir un código de construcción actualizado para reducir el riesgo de daños por terremoto.
	Adoptar el Código de Construcción Internacional (IBC, por sus siglas en inglés) y el Código Residencial Internacional (IRC, por sus siglas en inglés).
Incorporar la mitigación de terremotos en la planificación local	Crear un comité de seguridad sísmica para ofrecer recomendaciones de políticas, evaluar y recomendar cambios en las normas de seguridad sísmica y proporcionar una evaluación anual de implementación y mejoras.
	Desarrollar y distribuir directrices u ordenanzas que requieran a los desarrolladores y propietarios de edificaciones ubicar líneas vitales, edificios, infraestructura crítica y materiales peligrosos fuera de las zonas sujetas a amenazas sísmicas significativas.
	Incorporar acciones estructurales y no estructurales de fortalecimiento sísmico en los planes de construcción en curso en el plan de desarrollo capital.
	Apoyar incentivos financieros para los propietarios de edificaciones que refuercen sus estructuras.
Elaborar mapas y evaluar la vulnerabilidad de la comunidad a las amenazas sísmicas	Desarrollar un inventario de edificios públicos y comerciales que pueden ser vulnerables al daño por terremoto.
	Recopilar información geológica sobre fuentes sísmicas, condiciones del suelo y amenazas potenciales relacionadas.
	Crear un escenario de terremotos para estimar potenciales pérdidas de vidas y lesiones, tipos de daños potenciales y vulnerabilidades dentro de la comunidad para desarrollar prioridades de mitigación.
	Utilizar una herramienta de evaluación de riesgo para estimar de forma cuantitativa potenciales pérdidas como resultado de un terremoto.
	Llevar una base de datos para controlar la vulnerabilidad de la comunidad al riesgo de terremoto.
Realizar inspecciones de seguridad en edificios	Utilizar un SIG para cartografiar zonas de amenaza, estructuras en riesgo y amenazas asociadas.
	Establecer un procedimiento de evaluación de edificios y un documento orientativo para inventariar amenazas estructurales y no estructurales dentro de los edificios de escuelas y alrededor de ellos.
	Implementar la evaluación visual rápida para inspeccionar edificios e identificar daños ocasionados por desastres o potenciales debilidades sísmicas para priorizar los esfuerzos de reforzamiento.
	Consultar normas de la industria, tales como ASCE 31, ASCE 41 y ATC 20.

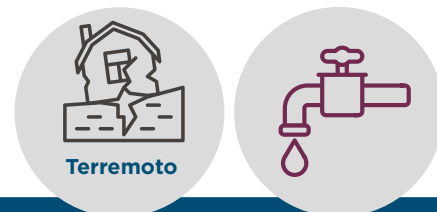
Tabla AG.3. Estructura e infraestructura

Tipo	Opción
Proteger instalaciones e infraestructura crítica	Realizar reforzamiento sísmico en las instalaciones públicas críticas más expuestas al riesgo de terremoto.
	Requerir el anclaje de generadores, elevadores y otros equipos vitales en hospitales.
	Identificar y fortalecer los sistemas críticos de líneas vitales para cumplir la normativa “Seismic Design Guidelines and Standards for Lifelines” (Directrices y Normas para Diseño Sísmico de Líneas Vitales) o normativa equivalente, como la de la American Lifelines Alliance.
	Revisar los planes de construcción de todos los puentes para determinar su susceptibilidad al colapso y reforzar los puentes que presenten problemas.
	Utilizar tubos flexibles al ampliar el servicio de agua, cloacas o gas natural.
	Instalar válvulas de cierre y mangueras conectoras de emergencia cuando las cañerías de agua principales crucen líneas de falla.
Implementar técnicas de mitigación estructurales	Fortalecer y reforzar edificios de mampostería no reforzada e instalaciones de hormigón no dúctiles particularmente vulnerables a temblores del suelo.
	Reforzar los revestimientos de edificios para prevenir fallas.
	Construir un recinto de seguridad para ofrecer protección durante terremotos.
	Instalar películas de protección en vidrios para evitar lesiones provocadas por vidrios rotos.
	Anclar equipos montados en techos.
	Chimeneas de mampostería situadas más de 6 pies por encima del techo construidas con arriostramiento de acero continuo reforzado.

Tabla AG.4. Programas de educación y concientización

Tipo	Opción
Concientización y capacitación	Mayor concientización sobre el riesgo de terremoto.
	Realizar tareas de concientización dirigidas a constructores, arquitectos, ingenieros e inspectores.
	Brindar información sobre reforzamiento estructural y no estructural.

AG.2.2. Opciones de mitigación de la amenaza por terremoto para el servicio de suministro de agua

**Tabla AG.5.** Servicio de suministro de agua - planta de tratamiento

Tipo	Opción
Anclaje/ estabilidad deficiente de los equipos	Anclar los transformadores eléctricos: anclar de forma adecuada los transformadores a los postes y los equipos a la losa de fundación. Las conexiones a los transformadores deben ser lo suficientemente flexibles para aislar tensiones procedentes de otros orígenes.
	Combinar equipos en una única fundación: bombas horizontales, compresores y otros equipos mecánicos que tienen motores y componentes similares deben montarse en una única fundación.

Tipo	Opción
Daños en las estructuras de tanques	Anclar las estructuras verticales de tanques en la base: (1) los anclajes pueden estar compuestos de zunchos de metal soldados al tanque e insertos en cimentaciones de hormigón; (2) los anclajes pueden consistir en pernos de anclaje verticales conectados a la fundación con anclajes de silla.
	Anclar estructuras horizontales de tanques en la base: tanto sobre la tierra como bajo tierra, deben estar apoyadas de forma segura y ancladas. Deben tener abrazaderas u otros apoyos que garanticen apoyo longitudinal.
	Instalar amortiguadores de fricción en tanques elevados: los amortiguadores de fricción absorben los movimientos del tanque y aumentan la resistencia sísmica. Diseñados para deslizar a una carga determinada a fin de reducir las fuerzas impuestas al tanque y pueden integrarse al arriostramiento cruzado que sostiene el tanque.
	Rigidizar las paredes verticales de tanques: rigidizar las vigas de acero que están soldadas al interior del tanque.

Tabla AG.6. Suministro de agua - tuberías

Tipo	Opción
Anclaje/ estabilidad deficiente de los equipos	Instalar juntas de expansión: deben agregarse para permitir cierto movimiento. Los materiales disponibles incluyen juntas flexibles de una única capa, hasta compuestos complejos de múltiples capas. Las juntas de expansión se instalan como conexiones flexibles en distintos puntos a lo largo de los sistemas de ductos y tubos.
	Sujetar tubos: cuerdas de sujeción holgadas instaladas mediante arandelas de goma en las juntas de espiga y campana de tubos existentes para permitir extensión, compresión y rotación de la junta. Reemplazar tubos por tubos con juntas flexibles o articulaciones de rótula con arandelas de sujeción.
	Mejorar los materiales de tubos: reemplazar tubos de materiales quebradizos por tubos de materiales más flexibles y dúctiles como el acero, el hierro dúctil, el cobre y algunos plásticos que pueden mitigar los daños en los tubos.
Tipo de equipos	Utilizar tubos flexibles al ampliar el servicio de agua, cloacas o gas natural.
	Instalar válvulas de cierre y mangueras conectoras de emergencia cuando las cañerías de agua principales crucen líneas de falla.

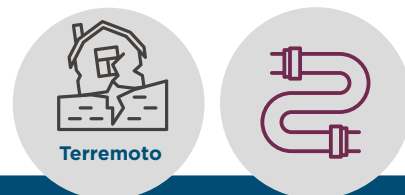
Tabla AG.7. Suministro de agua - pozos

Tipo	Opción
Movimiento del suelo/ asentamiento	Reforzar el cuerpo del pozo o instalar una bomba sumergible: (1) colocar un encamisado pesado en el pozo para proteger el cuerpo del pozo y la bomba ante movimientos del suelo; (2) instalar una bomba sumergible dado que al no tener un eje largo, éste no es vulnerable a dañarse. En zonas con riesgo de licuefacción, colocar un encamisado exterior más grande hasta la capa de suelo susceptible de licuefacción para proteger equipos.

AG.2.3. Opciones de mitigación de la amenaza por terremoto para el servicio de gestión de aguas residuales

Tabla AG.8. Gestión de aguas residuales - plantas de tratamiento

Tipo	Opción
Anclaje/ estabilidad deficiente de los equipos	Anclar los transformadores eléctricos: anclar de forma adecuada los transformadores a los postes y los equipos a la losa de fundación. Las conexiones a los transformadores deben ser lo suficientemente flexibles para aislar tensiones procedentes de otros orígenes.
	Combinar equipos en una fundación: bombas horizontales, compresores y otros equipos mecánicos que tienen motores y componentes similares deben montarse en una única fundación.



Tipo	Opción
Daños a las estructuras de tanques	Anclar las estructuras verticales de tanques en la base: (1) los anclajes pueden estar compuestos de zunchos de metal soldados al tanque e insertos en cimentaciones de hormigón; (2) los anclajes pueden consistir en pernos de anclaje verticales conectados a la fundación con anclajes de silla.
	Anclar estructuras horizontales de tanques en la base: tanto sobre la tierra como bajo tierra, deben estar apoyadas de forma segura y ancladas. Deben tener abrazaderas u otros apoyos que garanticen apoyo longitudinal.
	Instalar amortiguadores de fricción en tanques elevados: los amortiguadores de fricción absorben los movimientos del tanque y aumentan la resistencia sísmica. Diseñados para deslizar a una carga determinada para reducir las fuerzas impuestas al tanque y pueden integrarse al arriostramiento cruzado que sostiene el tanque.
	Rigidizar las paredes verticales de tanques: rigidizar las vigas de acero que están soldadas al interior del tanque.

Tabla AG.9. Gestión de aguas residuales - tuberías

Tipo	Opción
Movimiento del suelo/ asentamiento	Instalar juntas de expansión: deben agregarse para permitir cierto movimiento. Los materiales disponibles incluyen juntas flexibles de una única capa, hasta compuestos complejos de múltiples capas. Las juntas de expansión se instalan como conexiones flexibles en distintos puntos a lo largo de los sistemas de ductos y tubos.
	Sujetar tubos: cuerdas de sujeción holgadas instaladas mediante arandelas de goma en las juntas de espiga y campana de tubos existentes para permitir extensión, compresión y rotación de la junta. Reemplazar tubos por tubos con juntas flexibles o articulaciones de rótula con arandelas de sujeción.
	Mejorar los materiales de tubos: reemplazar tubos de materiales quebradizos por tubos de materiales más flexibles y dúctiles como el acero, el hierro dúctil, el cobre y algunos plásticos que pueden mitigar los daños en los tubos.
Tipo de equipos	Utilizar tubos flexibles al ampliar el servicio de agua, cloacas o gas natural.
	Instalar válvulas de cierre y mangueras conectoras de emergencia donde las cañerías de agua principales crucen líneas de falla.

AG.2.4. Opciones de mitigación de la amenaza por terremoto para infraestructura crítica

Tabla AG.10. Infraestructura crítica

Tipo	Opción
Apuntalamiento deficiente de muros	Reforzar utilizando muros de corte: limitan las tensiones sobre los muros y absorben las fuerzas.
	Apuntalar paredes largas con muros transversales: actuarán como amortiguadores absorbiendo energía y limitando los desplazamientos generados por el movimiento del suelo.
	Apuntalar muros averiados: agregar trabas horizontales o diagonales entre montantes verticales en la parte superior e inferior de los muros averiados.
	Reforzar el edificio con arriostramiento cruzado: el arriostramiento cruzado de acero en toda la altura del edificio puede aumentar su capacidad de soportar las fuerzas de terremotos.
	Proteger muros mediante rigidización de pisos: agregar entablado nuevo de madera terciada sobre entablado existente para reducir daño en muros.



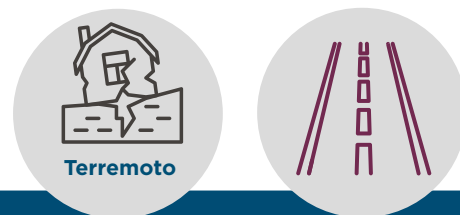
Tipo	Opción
Sistemas débiles de pisos/techos	Fortalecer el sistema de pisos/techos con cuerdas de acero: sujetar muros largos tanto al piso como al techo utilizando cuerdas de lámina de acero o bien ángulos de acero continuos.
	Agregar colectores para fortalecer pisos/techo: los colectores o montantes de compresión recogen o “arrastran” las fuerzas de corte desde zonas sin soporte hasta los muros portantes. Colectores compuestos por un miembro largo de madera o acero que se extiende hasta el piso o la estructura del techo en un extremo y anclado a muros portantes en el otro extremo.
Conexiones débiles	Anclar durmiente a la fundación: los durmientes deben tener pernos o estar anclados de otra forma a la fundación del edificio. Los pernos deben ser lo suficientemente largos para atravesar el durmiente y penetrar la fundación varias pulgadas.
	Instalar estribos de tensión entre elementos: amarrar los muros a los sistemas de techos y pisos utilizando estribos de tensión puede reforzar el edificio.
Condiciones de piso blando	Instalar anclas de corte: entre los muros y los sistemas de techos y pisos, impide deslizamiento entre muros y pisos. En general, el ancla de corte se conecta mediante vigas de piso utilizando chapa de acero en un extremo, mientras que el otro extremo se fija al muro.
	Aumentar el apoyo lateral rellenando aberturas: cerrar o rellenar las aberturas aumenta la fuerza sísmica y reduce las tensiones sobre los muros. Las aberturas de ventanas y paredes son rellenadas con hormigón reforzado o mampostería y conectadas con la pared existente mediante pasadores de acero. Reforzar edificio con pórticos de momento de acero: el anclaje lateral mediante pórticos de momento de acero permite mantener el espacio abierto y elimina la necesidad de rellenar aberturas o de agregar muros transversales adicionales.
Falta de reforzamiento/ confinamiento	Reforzar muros con materiales de fibra: las láminas de fibra de vidrio o de fibra de carbono pueden reforzar los muros in situ.
	Reforzar muros con hormigón proyectado: también conocido como gunita, hormigón proyectado aplicado en muros existentes y fijado mediante anclajes de epoxi. El hormigón proyectado se refuerza con acero y se fija mediante nuevas fundaciones o bien apuntalando la base de la fundación y ampliándola. Confinar columnas con envoltorios de fibra: envolver las columnas con envoltorios de fibra de vidrio o fibra de carbono para aumentar su resistencia.
Respuesta sísmica deficiente	Aislar el edificio con rodamientos de aislación de vibraciones: diseñados para amortiguar los movimientos de suelo causado por los terremotos antes de que lleguen al edificio y ayudan al edificio a moverse como una unidad.
	Instalar amortiguadores: pueden integrarse al arriostramiento cruzado en toda la estructura del edificio para absorber movimientos y aumentar la resistencia a terremotos. Crear juntas de separación entre estructuras: permiten que cada estructura se comporte de forma individual e impiden impactos de otras estructuras. Las juntas exteriores deben rellenarse con materiales elásticos y resistentes al clima.

Tipo	Opción
Arriostramiento deficiente de elementos exteriores	Arriostar parapetos: pueden arriostrarse desde la parte posterior utilizando riostras angulares de acero ancladas al parapeto y conectadas a la estructura del techo. También pueden arriostrarse con hormigón reforzado u hormigón proyectado. Reducir la altura del parapeto también reduce la carga sobre el elemento.
	Anclar cornizas y elementos arquitectónicos: pueden anclarse desde el exterior mediante anclajes con arandelas de placa exteriores o desde el interior con arandelas fresadas y/o anclajes de epoxy.
	Arriostar o apoyar chimeneas: (1) las extensiones de chimeneas sobre la línea de techo pueden sujetarse con correas de acero ancladas con riostras angulares de acero; (2) el conducto de humo puede reforzarse utilizando barras verticales y horizontales de hormigón; (3) arrollamientos de uniones de acero en vigas de piso para anclar chimeneas en edificios de varios pisos.
	Quitar, reubicar o reemplazar elementos pesados: los toldos y elementos decorativos pueden no estar debidamente anclados o reforzados.
	Reemplazar fachadas de piedra por un material más liviano: pueden reemplazarse por hormigón ligero, hormigón proyectado o revoque de cemento (estucado) o chapa de piedra.
	Fijar sujetadores de paneles de muros: el panel de muro debe estar fijado con rigidez en la base y luego sostenido con un tirante flexible en la parte superior.
	Arriostar ventanas grandes: tirante de acero anclado a las esquinas del marco de la ventana y conectado por tensores de tornillo. Otra opción es utilizar ventanas especialmente diseñadas que llevan marcos más anchos e incluyen un material comprimible entre el marco y el vidrio de la ventana.
Anclaje deficiente de elementos interiores	Reforzar los vidrios de ventanas: el vidrio templado es más fuerte ue el vidrio convencional. Vidrio reforzado con hilo metálico o película adhesiva aplicada a una ventana existente capaz de sostener los fragmentos de vidrio, reduciendo los daños.
	Asegurar cielorrasos suspendidos: la instalación de arriostramiento diagonal por cables de “cuatro hilos” y tensores de compresión entre la malla del cielorraso y el piso que lo sostiene aumenta el comportamiento sísmico del cielorraso.
	Asegurar artefactos de iluminación aéreos o suspendidos: pueden agregarse amarres de cable independientes conectados desde cada esquina del artefacto hasta el piso que lo sostiene. También pueden instalarse conductos portacables metálicos roscados para proteger el cableado y sostener el artefacto y los puentes de hilo, o proteger los tubos fluorescentes con jaulas para impedir que caigan.
	Arriostar tabiques internos: requieren apoyo lateral desde el techo, el piso o la estructura del techo. Los tabiques divisorios no arriostrados que no lleguen al piso o al techo deben ser arriostrados a la estructura. Se puede brindar apoyo lateral mediante canales de acero colocados en la parte superior del tabique.
Anclaje deficiente de equipos	Anclar pisos flotantes: anclar los pedestales que sostienen el piso flotante al piso del edificio y asegurar los pedestales a la pared.
	Anclar equipos pesados: anclar los equipos directamente al piso o a una parte adecuada del edificio es preferible a montar equipos en aisladores de vibraciones. Si se utilizan aisladores, deben estar bien anclados y equipados con amortiguadores.
	Asegurar tanques de propano o tubos de gas: los tanques y tubos deben anclarse o arriostrarse con sunchos de metal. El tubo de gas comprimido debe sujetarse a la pared con dos vueltas de cadena alrededor del cilindro.
	Asegurar contrapesos de elevadores: (1) arriostar con rieles de contrapeso. El arriostramiento y los rieles deben estar adosados al edificio. Se pueden colocar placas retenedoras en la parte superior/inferior de los contrapesos y carros para impedir desalojamiento; (2) anclar la maquinaria/unidades de control de elevadores para impedir deslizamiento; (3) instalar placas retenedoras para impedir que las cuerdas de cable se muevan fuera de control; (4) instalar defensas en los soportes de riel para que las cuerdas/cadenas/cables no se enganchen.
	Instalar sistema de interrupción de elevadores para el caso de sismos: (1) reducirá posible colisión entre contrapeso y carro. Además, están diseñados para mover la cabina del elevador a un piso lejos del contrapeso donde las puertas del carro pueden abrirse si hay pasajeros adentro y cerrar el elevador.

Tipo	Opción
Conexiones no adecuadas	Arriostrar los caños de servicios aéreos: arriostrar e inmovilizar los caños de servicios utilizando ganchos, correas, abrazaderas y riostras angulares. Los caños/accesorios horizontales de gran porte deben estar arriostrados en cada junta, rama o cambio de dirección.
	Asegurar conductos de calefacción, ventilación y aire acondicionado: instalar arriostramiento para asegurar que las juntas permanezcan intactas y reducir balanceos.
	Instalar conexiones flexibles: los tubos o conductos de conexión flexibles entre equipos y sus líneas de alimentación deben seguir una trayectoria en forma de "U" para permitir movimiento en todas las direcciones.
Movimiento de mobiliario	Instalar válvulas de cierre: las válvulas de corte de gas sísmicas interrumpen el flujo de gas cuando ocurren movimientos del suelo. Como alternativa, se puede instalar un sistema de protección para gas que interrumpe el flujo cuando el sensor detecta una fuga de gas o una velocidad de flujo elevada.
	Fijar computadoras de escritorio y equipos: puede utilizarse velcro, cadenas, cables, cuerdas elásticas. Anclar extremos de cadenas, cables, clips, cuerdas a pared o escritorio, mesa o mesada.
	Asegurar materiales peligrosos: se deben instalar válvulas de cierre que se activen ante sismos en las líneas de alimentación de materiales peligrosos con conexiones flexibles en tanques de almacenamiento. Se debe impedir que otros químicos caigan de sus estantes mediante correas, rebordes en los estantes o trabas en puertas de armarios.
	Anclar sistemas de archivo automáticos: asegurar al piso utilizando pernos de anclaje sísmicos en todas las esquinas y deben ser lo suficientemente largos para penetrar la losa del piso.
	Asegurar amoblamiento general: (1) anclar los tabiques divisorios de perímetro libre al piso o fijar a escritorios/muebles más grandes; (2) asegurar vitrinas a paredes con ménsulas y pernos al piso; (3) anclar muebles con tornillos lo suficientemente largos para penetrar la pared/tornillos de montaje; (4) redistribuir los artículos pesados en los estantes más bajos; (5) asegurar láminas enmarcadas con ganchos de ojo de cuello largo o abiertos.

AG.2.5. Opciones de mitigación de la amenaza por terremoto para el transporte

Tabla AG.11. Transporte - puentes



Tipo	Opción
Aumentar la resistencia de pilares existentes	Confinar pilares con camisas: colocar camisa de acero alrededor del pilar para impedir fallas. Se pueden utilizar fundas de fibra de vidrio o fibra de carbono en lugar de camisas de acero.
	Pilares adicionales: se pueden instalar para impedir la falla de pilares. Los pilares adicionales reducirán las fuerzas soportadas por los pilares existentes y aumentarán la resistencia general del puente.
Proteger o reforzar la losa	Agregar cabezales en pilares: los terremotos severos pueden generar fallas por punzonado cuando los pilares se rompen o perforan la losa del puente. Para evitarlo, se debe agrandar las cabezas de los pilares utilizando cabezales.
	Agregar pilares: otro método para prevenir la falla por punzonado es aumentar la superficie de las vigas de acero horizontalmente y luego agregar pilares en ambos lados del puente.
	Aumentar el espesor de la losa: al aumentar el espesor de la losa se puede evitar la falla por punzonado porque se refuerza la losa y aumenta su resistencia.

Tipo	Opción
Reforzar las conexiones del puente	Agregar sujetadores de cable: los sujetadores se anclan cruzando la junta y mantienen juntos los tramos contiguos. Transfieren las fuerzas sísmicas a las vigas adyacentes.
	Construir bloques de corte: los bloques de corte de hormigón reforzado anclados a las vigas de cabezales ayudan a evitar el movimiento lateral en el puente.
	Arriostrar tramos mediante diafragmas: se utilizan arriostramientos en cruz entre las vigas maestras para minimizar la flexión de los tramos del puente. Distribuyen las fuerzas laterales entre las vigas maestras, mejoran el comportamiento y reducen los desplazamientos sísmicos en general.
	Ampliar los asientos de apoyo: los asientos de apoyo sostienen las vigas maestras del puente. Las vigas maestras se deslizan/mueven más allá de la longitud de los asientos de apoyo durante un terremoto. Se pueden utilizar extensiones para los asientos a fin de aumentar el apoyo de las vigas maestras y reducir el riesgo de falla.
	Colocar dispositivos de bloqueo en las juntas: las juntas debajo del tablero del puente y de los apoyos/pilares son vulnerables. Los dispositivos de bloqueo van abulonados a ménsulas montadas en las juntas. Pueden moverse en condiciones normales pero se “traban” durante un terremoto y permiten que la carga se distribuya en todo el puente.
	Agregar cojinete de aislación: los cojinetes de aislación sísmica permiten aumentar la resistencia a las fuerzas del terremoto al agregar apoyo de carga y flexibilidad. Tienen flexibilidad suficiente para absorber movimientos laterales producidos por el movimiento del suelo, por lo que reducen las fuerzas a través de la estructura.
Aumentar la fuerza y la resistencia de vigas cabezales a la flexión	Eliminar los tramos con soporte simple: los puentes con numerosos tramos diferentes son altamente vulnerables a los terremotos porque reaccionan de forma independiente. Si se los combina en un único tramo continuo, se aumenta la resistencia.
	Pretensado de vigas cabezales: las fallas en vigas cabezales pueden evitarse pretensando el hormigón mediante tendones para aumentar la resistencia sísmica y la fuerza. El pretensado implica comprimir el hormigón, luego se anclan tendones a los bloques de los extremos.
	Reforzar las vigas cabezales con barras de apoyo: colocar barras de apoyo de hormigón reforzado reduce el impacto de las cargas gravitacionales verticales y al mismo tiempo minimiza el movimiento de la viga debido a las fuerzas del terremoto.

AG.3. Opciones de mitigación de la amenaza por inundación

AG.3.1. Opciones generales de mitigación de la amenaza por inundación

Tabla AG.12. Opciones de planificación



Tipo	Opción
Incorporar la mitigación de inundaciones en la planificación local	Desarrollar y hacer cumplir plan de usos del suelo aceptables para mitigar el riesgo de daño limitando la exposición a zonas de amenaza por inundación.
	Desarrollar un plan de gestión de llanura de inundación y actualizarlo periódicamente.
	Mitigar amenazas durante la planificación de infraestructura.
	Adoptar ordenanza para recuperación post-desastre con base en un plan para regular las actividades de reparación.
	Emitir y hacer cumplir una ordenanza sobre el vertido de residuos en cursos de agua y cunetas.
	Establecer un programa de infraestructura verde.
	Obtener servidumbres para uso público planificado y regulado en tierras de propiedad privada para retención temporal de agua y drenaje.

Tipo	Opción
Realizar alianzas para apoyar la gestión de la llanura de inundación	Desarrollar un comité sobre gestión de aguas pluviales.
	Crear un consejo de cuencas regional.
	Establecer iniciativas de planificación a nivel de cuenca para abordar la amenaza por inundación con las jurisdicciones linderas. Crear un comité directivo de implementación de planes integrado por ciudadanos destinado a monitorear el progreso de las acciones de mitigación locales.
Limitar o restringir el desarrollo en zonas situadas dentro de la llanura de inundación	Prohibir o limitar el desarrollo en la llanura de inundación.
	Limitar la densidad de los desarrollos en la llanura de inundación.
	Exigir que las llanuras de inundación se mantengan como espacios abiertos.
	Limitar el porcentaje de superficie impermeable permitida dentro de las parcelas desarrolladas.
	Desarrollar una ordenanza de amortiguamiento de cursos de agua para proteger los recursos hídricos y limitar los impactos de las inundaciones. Prohibir rellenos en zonas situadas dentro de la llanura de inundación.
Adoptar y hacer cumplir códigos de construcción y normativas de desarrollo	Adoptar el Código de Construcción Internacional (IBC, por sus siglas en inglés) y el Código Residencial Internacional (IRC, por sus siglas en inglés).
	Adoptar la norma ASCE-24-05 sobre diseño y construcción resistente a las inundaciones.
	Agregar o aumentar los requisitos de “bordo libre” (pies sobre la cota de inundación base) en la ordenanza sobre daños por inundación.
	Prohibir cerramientos en el primer piso por debajo de la cota de inundación base en todas las estructuras situadas en zonas de amenaza por inundación.
	Considerar la orientación de nuevos desarrollos durante el diseño.
	Establecer la cota de inundación de diseño en o por encima de la marca de agua histórica más elevada si se encuentra por encima de la cota de inundación base.
Mejorar la planificación de la gestión de aguas pluviales	Utilizar normas de diseño de subdivisión de terreno para requerir recopilación de datos sobre cotas durante el trazado de las subdivisiones y para tener espacio construible en los lotes que se encuentran por encima de la cota de inundación base.
	Requerir el amarre estándar de tanques de propano.
	Realizar un estudio sobre drenaje de aguas pluviales para las zonas problemáticas conocidas.
	Desarrollar y adoptar un plan de drenaje de aguas pluviales y una ordenanza.
	Desarrollar y adoptar un plan maestro de gestión de aguas pluviales para toda la comunidad.
	Regular el desarrollo en las zonas elevadas para reducir la escorrentía de aguas pluviales mediante una ordenanza sobre aguas pluviales.
	Vincular los objetivos de mitigación de la amenaza por inundación con la Fase II de las iniciativas de la Agencia de Protección Ambiental de EE.UU. en materia de aguas pluviales (EPA Stormwater Phase II initiatives).
	Desarrollar directrices de ingeniería para drenaje desde nuevos desarrollos.
	Exigir un estudio sobre drenaje a los nuevos desarrollos.
	Incentivar la implementación de técnicas de desarrollo de bajo impacto.

Tipo	Opción
Adoptar políticas para reducir la escorrentía de aguas pluviales	Diseñar una política sobre “escorrentía natural” o “descarga cero” para el agua pluvial en el diseño de subdivisiones del terreno.
	Exigir que se preserven y planten más árboles en los diseños paisajísticos.
	Exigir que los desarrolladores planifiquen la retención de sedimentos in situ.
	Exigir a los desarrolladores la construcción de cuencas de retención en el lugar para gestionar las aguas pluviales excesivas y como una fuente de agua para extinción de incendios.
	Incentivar el uso de pavimento poroso, amortiguamiento verde e islas en las grandes zonas de aparcamiento.
	Hacer que el pavimento coincida con los contornos del terreno para no generar vías de escurrimiento más fáciles para el agua pluvial.
	Incentivar el uso de pavimento y superficies permeables para reducir la escorrentía y aumentar la recarga de agua subterránea.
Mejorar la evaluación de riesgo de inundación para aumentar la conciencia al respecto	Adoptar regulaciones de control de erosión y sedimentación para la construcción y la agricultura.
	Incorporar procedimientos para registrar las marcas de agua máximas luego de una inundación en los planes de respuesta de emergencia.
	Realizar un estudio de verificación y desarrollar una base de datos de seguimiento asociada.
	Calcular y documentar con regularidad la cantidad de propiedades inundables conservadas como espacio abierto.
	Requerir un análisis exhaustivo de la cuenca a todos los proyectos de represas o embalses que se propongan.
	Desarrollar un estudio de falla de represa y un plan de acción ante emergencias.
	Utilizar un SIG para cartografiar zonas en riesgo de inundación.
Gestionar la llanura de inundación más allá de los requerimientos mínimos	Obtener datos de malla sobre profundidad y utilizarlos para presentar el riesgo de inundación de un modo ilustrativo al público.
	Incorporar datos digitales y topográficos sobre la llanura de inundación en un SIG junto con software de evaluación de riesgo.
	Desarrollar y mantener una base de datos para controlar la exposición de la comunidad al riesgo de inundación.
	Revisar y actualizar los mapas regulatorios de la llanura de inundación.
	Incorporar la política “Cero Impacto Adverso” (“No Adverse Impact”) de la ASFPM.
	Revisar las ordenanzas sobre la llanura de inundación para incorporar requerimientos sobre daño sustancial acumulado.
	Incorporar como requisito la obtención de un certificado de no incremento de la altura de inundación (“no-rise” certification) en la cláusula sobre cota de inundación base de la ordenanza para prevención de daños por inundación.
	Ampliar el requisito de bordo libre más allá de la llanura de inundación cartografiada para incluir una elevación del terreno equivalente.
	Incluir requerimientos en la ordenanza local sobre la llanura de inundación que obliguen a los propietarios de viviendas a firmar acuerdos de no conversión respecto de las zonas por debajo de la cota de inundación base.
	Establecer y difundir un repositorio donde se pueda consultar mapas con los precios de los seguros contra inundación.
	Desarrollar folleto educativo para quienes tengan un seguro del NFIP sobre el mayor costo de cumplimiento durante las evaluaciones de daños posteriores a las inundaciones.
	Notificar anualmente a los propietarios sobre propiedades con pérdidas reiteradas con base en información del Fondo de Asistencia para Mitigación de Inundaciones (Flood Mitigation Assistance Funding).
	Ofrecer incentivos para construir por encima del bordo libre mínimo.

Tipo	Opción
Establecer mecanismos de financiamiento locales para mitigación de inundaciones	Utilizar los impuestos para apoyar el sistema regulatorio.
	Implementar tarifas por impacto para ayudar a financiar proyectos públicos para mitigar los impactos del desarrollo de tierras.
	Recaudar impuestos para financiar el mantenimiento de los sistemas de drenaje y mejoras importantes.
Proteger la infraestructura crítica	Requerir que todas las infraestructuras críticas, incluidos los centros de operaciones de emergencia, las centrales de policía y los departamentos de bomberos se localicen fuera de las zonas inundables.
	Requerir que todas las infraestructuras críticas se construyan 1 pie por encima de la cota de inundación del periodo de retorno de 500 años.

Tabla AG.13. Opciones estructurales y de infraestructura

Tipo	Opción
Eliminar las estructuras existentes	Remover las estructuras existentes en las zonas bajo amenaza de inundación para minimizar las futuras pérdidas por inundación mediante la adquisición y demolición o reubicación de estructuras pertenecientes a propietarios que voluntariamente deseen participar en esta iniciativa.
Mejorar la capacidad del sistema de drenaje de aguas pluviales	Instalar, modificar la traza o aumentar la capacidad del sistema de drenaje de aguas pluviales.
	Aumentar las capacidades de drenaje o absorción con cuencas de detención y retención, cuencas de drenaje, vertederos, ampliación/dragado o modificación de la vía de drenaje, remoción de obstrucciones y escombros, alcantarillas adicionales, modificación de puentes, retallo de diques, compuertas y bombas de inundación o redireccionamiento de canales.
	Aumentar la capacidad de las cuencas de detención y retención de aguas pluviales.
	Construir cunetas con césped a lo largo de vías.
Elevar o reforzar estructuras y servicios públicos	Elevar estructuras para que el piso más bajo, incluido el sótano, queden por encima de la cota de inundación base.
	Elevar los servicios o dispositivos mecánicos por encima de los niveles de inundación esperados.
	Elevar y anclar las viviendas prefabricadas o situarlas fuera de la llanura de inundación.
	Reubicar servicios y calentadores de agua por encima de la cota de inundación base y utilizar calentadores de agua sin tanque en espacios pequeños.
Estructuras residenciales y no residenciales a prueba de inundación	La impermeabilización en mojado del sótano permite que la inundación controlada estabilice las fuerzas interiores y exteriores sobre las paredes.
	Incentivar la protección contra inundaciones en mojado en áreas por encima de la cota de inundación base.
	Utilizar pinturas u otros materiales resistentes al agua para permitir una limpieza fácil después de la exposición al agua de inundación en estructuras accesorias o en la zona de garaje debajo de una estructura residencial elevada.
	Dotar de protección contra inundación en seco a estructuras no residenciales mediante el reforzamiento de paredes, el sellado de aberturas o la utilización de compuestos o láminas plásticas a prueba de agua en paredes para mantener el agua afuera.

Tipo	Opción
Proteger la infraestructura crítica	Instalar/mejorar estaciones de bombeo de agua pluvial.
	Elevar los componentes eléctricos de las estaciones de bombeo del sistema cloacal sobre la cota de inundación base.
	Elevar las aberturas de pozos de registro utilizando pilares de hormigón.
	Instalar coberturas estancas en las protecciones contra ingreso de aguas en los pozos de registro del sistema cloacal.
	Instalar sistemas telemétricos de control de inundaciones en las estaciones de bombeo del sistema cloacal.
	Instalar generadores de reserva para estaciones de bombeo en los sistemas cloacales sanitarios junto con la implementación de otras medidas (alarmas, medidores, controles remotos, mejoras en interruptores).
	Construir diques de tierra alrededor de instalaciones críticas inundables.
	Utilizar técnicas de bioingeniería para la estabilización de riberas.

Tabla AG.14. Opciones de protección de sistemas naturales

Tipo	Opción
Proteger y reinstaurar medidas de mitigación de inundaciones naturales	Proteger y mejorar las formas del relieve que funcionan como medidas de mitigación naturales (riberas, humedales, dunas, etc.).
	Implementar gestión vegetativa, como amortiguadores, alrededor de cursos de agua y fuentes de agua.
	Proteger y preservar los humedales para ayudar a prevenir la inundación en otras áreas.
	Establecer y gestionar los amortiguadores ripícolas a lo largo de ríos y arroyos.
	Mantener los lechos vegetativos naturales en canales de aguas pluviales.
Preservar llanuras de inundación como espacio abierto	Mantener la cobertura vegetal gruesa en tierras públicas linderas a ríos.
	Desarrollar un plan de adquisiciones, reutilización y preservación de espacios abiertos para las zonas bajo amenaza.
	Desarrollar programa de banca de tierras para la preservación de funciones naturales y beneficiosas de zonas bajo amenaza de inundación.
	Implementar la transferencia de derechos de desarrollo para permitir al desarrollador aumentar las densidades de otra parcela que no está en riesgo a cambio de mantener áreas de la llanura de inundación libres.
	Compensar al propietario por derechos parciales, como servidumbres o derechos de desarrollo para impedir que la tierra sea desarrollada.

Tabla AG.15. Programas de educación y concientización

Tipo	Opción
Concientizar sobre el riesgo de inundación y la seguridad	Incentivar la contratación de seguros contra inundación.
	Distribuir anualmente información de seguridad para protección contra inundación.
	Educar a los ciudadanos sobre seguridad durante condiciones de inundación.
	Implementar programas de concientización para asesorar a los propietarios sobre los riesgos contra la vida, la salud y la seguridad.
	Ofrecer mapas de amenazas en SIG en línea a residentes y profesionales.
	Establecer un programa de información pública con un comité para dicho programa.

AG.3.2. Opciones de mitigación de la amenaza por inundación para el servicio de suministro de agua

Tabla AG.16. Opciones de mitigación de la amenaza por inundación para plantas de tratamiento



Tipo	Opción
Preservar las estructuras contra inundación	Instalar barreras físicas para proteger contra inundaciones la instalación completa (muros de protección contra inundación, diques) o tener la capacidad de implementar sistemas temporarios que logren la protección requerida.
	Instalar infraestructura verde dentro o fuera de los límites de la planta de tratamiento para atenuar, desviar o retener aguas de inundación y mareas de tormenta.
	Instalar sistemas de bombeo de agua de inundación y/o sistemas de canales/alcantarillas para recoger y desviar el agua de inundación fuera de los procesos de tratamiento.
Proteger componentes críticos si la planta de tratamiento se inunda	Desarrollar capacidad para remover y almacenar con seguridad componentes vulnerables antes de que ocurra una inundación cuando existe una alerta con suficiente antelación.
	Instalar equipos resistentes al agua salobre y tanques de almacenamiento (químicos y combustible).
	Impermeabilizar componentes eléctricos (motores de bombas, equipos de monitoreo) y circuitos.
	Elevar, reubicar o cubrir activos individuales para impedir que se dañen con el agua de inundación, ampliar verticalmente las paredes de una estructura de tratamiento (pileta, tanque, filtro) por encima de la altura hidrométrica crítica y/o impermeabilizar/sellar estructuras para impedir que ingrese agua de inundación al tren de tratamiento.
Mantener el suministro de agua potable segura durante la inundación	Reemplazar equipos motorizados y eléctricos con equipos sumergibles (bombas sumergibles).
	Monitorear la calidad del agua sin tratar que ingresa a la planta de tratamiento y estar preparado para ajustar el proceso de tratamiento según sea necesario (agregar químicos, tiempo de residencia) para compensar la mayor carga de contaminantes o una mayor turbidez.
	Comprar equipos de prueba manuales portátiles para mantener en reserva en caso de que los equipos montados de forma permanente queden fuera de servicio durante una inundación.
	Desarrollar directrices o modelos de procesos para entender posibles cambios en la calidad del agua, ajustes que puedan requerirse para cumplir con los estándares de agua potable y posibles costos de las modificaciones en el tratamiento.
Mantener el funcionamiento de la planta de tratamiento si la red de suministro eléctrico queda fuera de servicio	Explorar conexiones u otras oportunidades de alianzas para compartir recursos o facilitar servicios públicos de suministro de agua ante emergencias con servicios de suministro de agua situados en los alrededores.
	Instalar equipos energéticamente eficientes para aumentar la longevidad del suministro de combustible para generadores de reserva.
Aumentar la capacidad de almacenamiento como preparación a una inundación	Reemplazar equipos motorizados por equipos equivalentes que funcionen a diésel o con opción dual.
	Considerar llenar los tanques de almacenamiento de agua tratada hasta su capacidad total antes de un evento de tormenta para maximizar el almacenamiento si el servicio es interrumpido o si se daña.
	Instalar tanques de almacenamiento de químicos de gran capacidad para asegurar suministro suficiente durante y después de la emergencia hasta que la cadena de suministro se restituya.
	Determinar si sería beneficioso aumentar la capacidad de almacenamiento de emergencia de agua tratada (sopesando cuestiones sobre la calidad/el vencimiento del agua).

Tabla AG.17. Servicio de suministro de agua / tuberías (toma, distribución y almacenamiento)

Tipo	Opción
Preservar las estructuras contra inundación	Reubicar o elevar la sala de bombas y los accesorios del sistema de distribución situados en zona inundable.
Proteger componentes críticos si la planta de tratamiento se inunda	Proteger o reforzar estructuras de toma de agua superficiales contra los escombros flotantes, la erosión y el colmataje para impedir daños u obstrucciones durante inundaciones. Instalar espigón o rompeolas para desviar escombros/limo fuera de la zona donde se ubica la estructura. Instalar/mejorar filtro en la toma para impedir obstrucciones por escombros.
	Impermeabilizar, reubicar o reforzar los accesorios del sistema de distribución (hidrantes contra incendios, cajas de válvulas) que son susceptibles a inundación o a sufrir daños a causa de escombros.
	Instalar bombas sumergibles o motores de bombas a prueba de agua.
	Asegurar que las tuberías de distribución que cruzan los cauces están lo suficientemente enterradas debajo del lecho.
Mantener el suministro de agua potable segura durante la inundación	Instalar equipos de monitoreo aguas arriba de las tomas para brindar alerta temprana sobre condiciones del agua sin tratar (turbidez, flujo) si no se realiza monitoreo estadual o federal. Ajustar el proceso de tratamiento según sea necesario (agregado de químicos, tiempo de residencia) para compensar la mayor carga de contaminantes o la mayor turbidez.
	Contar con un plan de acceso alternativo en caso de que el acceso normal a la estructura de tomas y/o a la sala de bombas esté bloqueado. Consultar a otras entidades (Departamento de Transporte) sobre opciones alternativas de rutas/transporte (embarcación).
	Implementar un plan para llenar los tanques de almacenamiento de agua tratada al tope de su capacidad antes de un evento de tormenta.
	Mantener stock de partes de repuesto para reparar equipos dañados.
Mejorar la planificación de la gestión de aguas pluviales.	Explorar conexiones u otras oportunidades de alianzas para compartir recursos o facilitar servicios públicos de suministro de agua ante emergencias con servicios de suministro de agua situados en los alrededores.
	Realizar un estudio sobre drenaje de aguas pluviales para las zonas problemáticas conocidas.
	Desarrollar y adoptar un plan de drenaje de aguas pluviales y una ordenanza.
	Desarrollar y adoptar plan maestro de gestión de aguas pluviales para toda la comunidad.
	Regular el desarrollo en las zonas elevadas para reducir la escorrentía de aguas pluviales mediante una ordenanza sobre aguas pluviales.
Mejorar la capacidad del sistema de drenaje de aguas pluviales	Desarrollar directrices de ingeniería para drenaje desde nuevos desarrollos.
	Exigir un estudio sobre drenaje a los nuevos desarrollos.
	Incentivar la implementación de técnicas de desarrollo de bajo impacto.
	Instalar, modificar la ruta o aumentar la capacidad del sistema de drenaje de aguas pluviales.
	Aumentar las capacidades de drenaje o absorción con cuencas de detención y retención, cuencas de drenaje, vertederos, ampliación/dragado o modificación de la ruta de drenaje, remoción de obstrucciones y escombros, alcantarillas adicionales, modificación de puentes, retallo de diques, compuertas y bombas de inundación o redireccionamiento de canales.
	Aumentar la capacidad de las cuencas de detención y retención de aguas pluviales.
	Aumentar las dimensiones de las alcantarillas de drenaje en las zonas inundables.
	Implementar restauración fluvial para asegurar un adecuado drenaje y desvío de aguas pluviales.
	Exigir a los desarrolladores la construcción de cuencas de retención en el lugar para gestionar las aguas pluviales excesivas y como una fuente de agua para extinción de incendios.

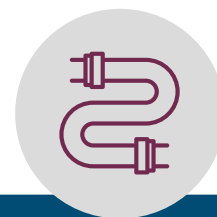
Tipo	Opción
Realizar mantenimiento regular a los sistemas de drenaje y estructuras de control de inundaciones	Realizar mantenimiento regular al sistema de drenaje, como remoción de sedimentos y escombros, detección y prevención de descargas en los sistemas de aguas pluviales y cloacales, tubos de bajada de agua o bombas del sistema cloacal.
	Implementar programa de inspecciones, mantenimiento y cumplimiento para asegurar la integridad continua de represas y diques.
	Limpiar rutinariamente y reparar los drenajes de aguas pluviales.
	Retirar con regularidad las acumulaciones de sedimentos en las riberas cerca de las tuberías.
	Incorporar técnicas de prevención de atascamiento de hielo según corresponda.

Tabla AG.18. Suministro de agua - pozos

Tipo	Opción
Evitar que el campo de pozos/la sala de bombas se inunde	Adquirir barreras temporarias de protección contra inundaciones (bolsas de arena) para utilizar en pequeñas inundaciones.
	Renivelar el terreno alrededor del campo de pozos de manera tal que la pendiente haga que el agua se escurra en dirección opuesta a los pozos. Asegurarse de que la cañería de revestimiento termine al menos 12" (doce pulgadas) sobre el nivel del suelo. Además extender las cañerías de revestimiento de pozos por encima de la zona de inundación.
	Reubicar o elevar las salas de bombas del campo de pozos que se encuentran localizadas en la zona de inundación.
Proteger componentes críticos si la toma de agua subterránea y el sistema de suministro se inundan	Proteger o reforzar estructuras de toma de agua superficiales contra los escombros flotantes, la erosión y el colmataje para impedir daños u obstrucciones durante inundaciones.
	Sellar la parte superior de la cañería de revestimiento de pozos, impermeabilizar las tapas de pozos situadas en la zona de inundación y extender los respiraderos por encima del nivel de la zona de inundación.
	Evaluar con periodicidad la integridad de los cierres superficiales fuera de las cañerías de revestimiento y verificar que no se haya producido sedimentación o que no se hayan formado cavidades alrededor de del exterior de las cañerías de revestimiento de los pozos, por donde el agua superficial podría fluir y llegar hasta el acuífero.
	Instalar bombas sumergibles o motores de bombas a prueba de agua y otros equipos.
Mantener el suministro de agua potable segura durante la inundación	Planificar llenar los tanques de almacenamiento de agua tratada al tope de su capacidad antes de un evento de tormenta.
	Contar con un plan de acceso alternativo en caso de que el acceso normal a la boca de pozo y/o a la sala de bombas esté bloqueado. Consultar a otras entidades (Departamento de Transporte) sobre opciones alternativas de rutas/transporte (embarcación).

AG.3.3. Opciones de mitigación de la amenaza por inundación para el servicio de gestión de aguas residuales

Tabla AG.19. Opciones de mitigación de la amenaza por inundación para plantas de tratamiento



Tipo	Opción
Evitar que la planta de tratamiento se inunde	Instalar barreras físicas para proteger la instalación completa contra inundaciones (muros de protección contra inundación, diques, puertas selladas) o tener la capacidad de implementar sistemas temporarios que logren la protección requerida.
	Instalar infraestructura verde dentro o fuera de los límites de la planta de tratamiento para atenuar, desviar o retener aguas de inundación y mareas de tormenta.
	Instalar sistemas de bombeo de agua de inundación y/o sistemas de canales/alcantarillas para recoger y desviar el agua de inundación.
	Corregir problemas de infiltración e influjo para reducir los flujos hacia la planta de tratamiento durante una inundación.
	Separar las cloacas unitarias para reducir los flujos hacia la planta de tratamiento durante una inundación.
Proteger componentes críticos si la planta de tratamiento se inunda	Construir un tanque de almacenamiento grande para almacenar desbordamientos para su futuro tratamiento (por ej., un túnel de gran capacidad para desbordamientos de aguas residuales negras y pluviales).
	Asegurar tanques de aire para impedir que floten si se inundan.
	Durante las tareas de mejora o de diseño de equipos nuevos, desarrollar capacidad para remover y almacenar con seguridad componentes vulnerables antes de que ocurra una inundación cuando existe una alerta con suficiente antelación.
	Instalar equipos y tanques de almacenamiento resistentes al agua salobre (por ej., para químicos y combustible) si la planta está situada cerca de la línea de la costa/agua salobre.
	Impermeabilizar componentes eléctricos (por ej., motores de bombas) y circuitos.
	Elevar, reubicar o cubrir activos individuales (por ej., ventiladores, tanques de químicos/combustibles/aire, instrumental/controles) para impedir que se dañen con el agua de inundación, ampliar verticalmente las paredes de una estructura de tratamiento (por ej., clarificador, pileta, tanque) por encima de la altura hidrométrica crítica y/o impermeabilizar/sellar estructuras para impedir que ingrese agua de inundaciones al tren de tratamiento.
	Reemplazar equipos motorizados y eléctricos con equipos sumergibles (por ej., bombas sumergibles).
Mantener el funcionamiento de la planta de tratamiento si la red de suministro eléctrico queda fuera de servicio y/o si las rutas de acceso quedan bloqueadas	Contar con un plan de acceso alternativo en caso de que el acceso normal a la planta de tratamiento esté bloqueado. Consultar a otras entidades sobre opciones alternativas de rutas/transporte (embarcación).
	Instalar tanques de almacenamiento de químicos y de combustible de mayor capacidad para asegurar un suministro suficiente durante y después de la emergencia hasta que la cadena de suministro se restituya.
	Instalar equipos energéticamente eficientes para aumentar la longevidad del suministro de combustible para generadores de reserva.
	Reemplazar equipos motorizados por equipos equivalentes que funcionen a diésel o con opción dual.
	Considerar opciones para adquirir generadores de reserva o una fuente de suministro de energía alternativa.

Tipo	Opción
Tener una forma de derivar las operaciones normales de la planta de tratamiento cuando sea necesario.	Instalar una conexión externa al sistema de aire comprimido de la instalación para permitir el uso temporario de un compresor de aire portátil si el principal compresor de aire queda fuera de servicio.
	Adquirir bombas portátiles o mantener una lista de contactos de múltiples proveedores que pueden suministrar servicios de bombeo de emergencia en caso de que parte del tren de tratamiento quede fuera de funcionamiento.
	Implementar un proyecto de regionalización para permitir el desvío de las aguas residuales a un sistema alternativo de servicio de recolección y tratamiento de dichas aguas.

Tabla AG.20. Gestión de aguas residuales - obras de cabecera

Tipo	Opción
Proteger los componentes críticos de las obras de cabecera para impedir que se inunden	Instalar controles de reserva no eléctricos donde sea posible (interruptores de flotador para bombas).
	Durante las tareas de mejora o de diseño de equipos nuevos, desarrollar capacidad para remover y almacenar con seguridad componentes vulnerables antes de que ocurra una inundación cuando existe una alerta con suficiente antelación.
	Mejorar los filtros mecánicos para impedir obstrucciones causadas por escombros y restricciones hidráulicas en anticipación a acumulaciones mayores de lo normal de arena, grava, residuos y escombros durante un evento de inundación e inmediatamente después.
	Impermeabilizar o elevar unidades de control de motores, instrumental y controles, paneles eléctricos, variadores de frecuencia variable y otros sistemas.
	Elevar motores de bombas y filtros y equipos mecánicos/eléctricos para otros procesos por encima del nivel de inundación.
Mantener el funcionamiento de las obras de cabecera cuando la red de suministro eléctrico esté fuera de servicio	Reemplazar bombas de pozos en seco por bombas sumergibles. Considerar la necesidad de mayor capacidad durante eventos de tormenta/inundación.
	Asegurar suministro eléctrico de emergencia para las obras de cabecera. Considerar instalar un generador exclusivo para las obras de cabecera o adquirir un generador móvil con suficiente producción de energía para el mismo fin.
	Reemplazar equipos motorizados por equipos equivalentes que funcionen a diésel o con opción dual.

Tabla AG.21. Gestión de aguas residuales - estaciones de bombeo

Tipo	Opción
Impedir que las estaciones de bombeo se inunden	Adquirir barreras temporarias de protección contra inundaciones (bolsas de arena) para utilizar en pequeñas inundaciones.
	Extender las tuberías de ventilación por encima del nivel de inundación anticipado para evitar que el agua de inundación ingrese a la estación de bombeo.
	Instalar compuertas y dispositivos de prevención de retorno en los tubos de agua afluente y de desborde de emergencia para evitar que el sistema de recolección y el agua de desborde inunden la estación de bombeo.
	Instalar barreras físicas permanentes (muros de encauzamiento, diques, puertas selladas).
	Instalar infraestructura verde para atenuar o desviar el agua de inundación y las mareas de tormenta para que no inunden las estaciones de bombeo.

Tipo	Opción
Proteger componentes críticos si la estación de bombeo se inunda	Instalar uniones en el sistema de conductos para reducir el tiempo necesario para reparar las secciones dañadas.
	Durante las tareas de mejora o de diseño de equipos nuevos, desarrollar capacidad para remover y almacenar con seguridad componentes vulnerables antes de que ocurra una inundación cuando existe una alerta con suficiente antelación.
	Impermeabilizar componentes críticos, controles y circuitos.
	Reubicar o elevar los componentes eléctricos (motores, mecanismos de control, centros de control de motores, sistemas de protección catódica, extractores de aire, etc.) por encima del nivel de inundación.
	Reemplazar componentes vulnerables por una opción sumergible (bombas, medidores de caudal, operadores de compuertas/válvulas, etc.).
	Reemplazar la estación de bombeo subterránea por una sobre el nivel del suelo elevada por encima del nivel de inundación.
Mantener el funcionamiento de la estación de bombeo cuando la red de suministro eléctrico esté fuera de servicio	Considerar opciones para adquirir generadores (permanentes o portátiles), aumentar la capacidad de almacenamiento de combustible o instalar un suministro de energía alternativo. Los generadores deben elevarse por encima del nivel de inundación, tener controles automatizados y estar correctamente dimensionados. El almacenamiento de combustible en el lugar también debe estar elevado y fijado para impedir que flote.
	Instalar equipos energéticamente eficientes para aumentar la longevidad del suministro de combustible para generadores de reserva.
	Reemplazar bombas por equipos equivalentes que funcionen a diésel o con opción dual.
Tener una forma de derivar las operaciones normales de la estación de bombeo cuando sea necesario	Mantener una lista de contactos de múltiples proveedores capaces de suministrar servicios de bombeo de emergencia o celebrar acuerdos con proveedores a tal fin.
	Adquirir bombas portátiles para restablecer el funcionamiento de una estación de bombeo dañada luego de un evento de inundación.
	Implementar un proyecto de regionalización para permitir el desvío de las aguas residuales a un sistema alternativo de servicio de recolección y transporte de dichas aguas.

AG.3.4. Opciones de mitigación de la amenaza por inundación para infraestructura crítica

Tabla AG.22. Opciones de mitigación de la amenaza por inundación para infraestructura crítica

Tipo	Opción
Selección y diseño del sitio de emplazamiento	El lugar de emplazamiento de infraestructura crítica nueva debe estar fuera de la zona inundable.
	Los lugares de emplazamiento de edificios deben ser razonablemente seguros en términos de inundación. Garantizar drenaje suficiente del lugar de emplazamiento para reducir la exposición a la inundación. Los sistemas sanitarios nuevos o de reemplazo deben estar diseñados para minimizar o eliminar la infiltración de agua de inundación a los sistemas y descargas procedentes de los sistemas hacia las aguas de inundación.
	Los edificios deben diseñarse y anclarse de forma adecuada para evitar flotación, colapso o movimiento lateral como resultado de las cargas hidrodinámicas e hidrostáticas, incluidos los efectos de subpresión. Los materiales de construcción utilizados por debajo de la cota de inundación de diseño deben ser resistentes al daño por inundación.



Tipo	Opción
Protección de servicios públicos y equipos esenciales	Eleva los equipos esenciales por encima de la cota de inundación más alta prevista o la cota de inundación con una probabilidad anual del 0,2%, la que sea más alta. La elevación en general requiere reubicar a pisos más elevados en el edificio, lo cual puede requerir trasladar otros equipos, ocupantes o funciones.
	Los propietarios del edificio deben evaluar todo el espacio disponible para determinar si una realización de una pequeña ampliación elevada sería una solución aceptable.
	Cuando no resulte práctico elevar equipos, la protección contra inundación en seco puede ser una opción; requiere la construcción de barreras contra inundación o cobertizos alrededor de equipos individuales o zonas que contienen equipos esenciales para evitar que las aguas de inundación entren en contacto con dichos equipos.
	Protección en seco contra el agua de inundación: debe cumplir con los criterios de ASCE 24 en todos los lugares. Los requisitos incluyen: instalación de cualquier tipo de barrera.
	Protección en seco contra las fuerzas de la inundación: debe diseñarse para resistir las fuerzas hidrostáticas que existirán cuando ingrese el agua de inundación y ser capaz de resistir las presiones y las fuerzas de subpresión.
	Protección en seco contra pérdidas e infiltración: pocas medidas de protección en seco contra inundación permiten una estanqueidad completa, por lo que debe preverse ciertas pérdidas/infiltración. Debido a que incluso pequeñas cantidades de pérdidas/filtraciones causarán eventualmente la inundación de las áreas protegidas, es obligatorio tomar recaudos para poder bombear agua fuera de las zonas protegidas contra inundaciones en seco.
Consideraciones de diseño para proteger sistemas y equipos esenciales	Debe dotarse de energía de emergencia a todos los equipos de bombeo que atiendan áreas protegidas contra inundaciones en seco. Para ser eficaces, todo el sistema de electricidad de emergencia, incluido el suministro de combustible, debe estar protegido de la inundación.
	Servicio eléctrico y sistemas de distribución: deben estar situados por encima de las cotas de inundación o protegidos contra inundaciones en seco. Los elementos esenciales incluyen las líneas primarias de suministro de la compañía de servicios públicos y los transformadores asociados, los equipos principales de servicio eléctrico de la instalación, los alimentadores corriente abajo y los paneles de distribución.
	Sistemas de datos: los principales servidores, interruptores y nodos de red para sistemas de telefonía, datos y comunicación deben instalarse por encima de las cotas de inundación para permanecer funcionales.
	Calefacción, ventilación y aire acondicionado: los componentes esenciales como calderas, enfriadores, torres de enfriamiento, bombas para circular agua caliente y agua fría y los controles asociados del sistema deben estar situados por encima de las cotas de inundación.
	Sistemas de agua/aguas residuales: los calentadores de agua domésticos, las bombas domésticas presurizadoras de agua y las bombas de circulación de agua caliente y los controles del sistema deben estar situados por encima de las cotas de inundación. Si ciertas bombas (colectoras, elevadoras) que descargan efluentes deben instalarse en zonas vulnerables, los componentes deben ser sumergibles.
	Tanques de combustible y sistemas de bombeo de combustible: cuando sea posible, todas las partes del sistema de despacho de combustible deben situarse por encima de las cotas de inundación. Si los componentes del sistema de combustible (como los principales tanques de almacenamiento de combustible y bombas) deben permanecer en zonas vulnerables a la inundación, los componentes deben diseñarse para uso sumergible. Los tanques de combustible deben diseñarse para soportar las fuerzas externas del peso del agua por encima y alrededor del tanque, estar anclados para evitar daños por flotación y diseñados para que las ventilaciones del tanque de combustible se extiendan por encima de las cotas de inundación previstas.
	Elevadores: incluso si no son parte de las rutas de egreso requeridas por el código, es beneficioso elevar los componentes por encima de la cota de inundación o utilizar materiales resistentes a la inundación en componentes que deben situarse en zonas expuestas a las aguas de inundación. Mediante la incorporación de controles que impidan que las cabinas de los elevadores descendan hasta las aguas de inundación, es posible reducir el daño y la pérdida de funcionamiento a largo plazo.
	Evaluación de vulnerabilidad: para ayudar a los operadores de la instalación a planificar con anticipación a eventos de inundación, se puede realizar una evaluación de vulnerabilidad para identificar equipos y sistemas vulnerables a la inundación. Las evaluaciones suelen ser realizadas por un equipo de arquitectos e ingenieros que trabajan en conjunto con los administradores de las instalaciones, operadores y personal de mantenimiento.

Tipo	Opción
Proteger la infraestructura crítica	Instalar/mejorar estaciones de bombeo de agua pluvial.
	Elevar los componentes eléctricos de las estaciones de bombeo del sistema cloacal sobre la cota de inundación base.
	Elevar las aberturas de pozos de registro utilizando pilares de hormigón.
	Instalar coberturas estancas en las protecciones contra ingreso de aguas en los pozos de registro del sistema cloacal.
	Instalar sistemas telemétricos de control de inundaciones en las estaciones de bombeo del sistema cloacal.
	Instalar generadores de reserva para estaciones de bombeo en los sistemas cloacales sanitarios junto con la implementación de otras medidas (alarmas, medidores, controles remoto, mejoras en interruptores).
	Construir diques de tierra alrededor de instalaciones críticas susceptibles a inundación.
	Utilizar técnicas de bioingeniería para la estabilización de riberas.

AG.3.5. Opciones de mitigación de la amenaza por inundación para el transporte

Tabla AG.23. Transporte - vías



Tipo	Opción
Erosión de cunetas	Aumentar la capacidad de las cunetas: aumentar la capacidad de las cunetas de las vías aumentando su profundidad y/o ancho.
	Instalar recubrimiento en la cuneta: recubrir con roca, hormigón, asfalto o vegetación para impedir su erosión. Materiales más grandes y de granulación más gruesa utilizados para protección contra flujos de alta velocidad.
	Instalar alcantarillas transversales adicionales: para cortar el flujo y no superar la capacidad de la cuneta de la vía. Las alcantarillas transversales suelen ser de tamaño mediano, de 18 a 24 pulgadas de diámetro.
	Instalar presas de control: instalar barreras de baja altura (presas de control), en general hechas de roca suelta, para disminuir la velocidad de la tormenta y reducir la acción de socavación.
Erosión de terraplenes	Dotar de protección de bioingeniería a los taludes de terraplenes cubriendo el talud con vegetación de raíz profunda y, en los sectores adyacentes en contacto con un curso de agua, anclar estratégicamente detritos de madera que fijen el suelo y lo protejan de la erosión.
	Instalar tubos de media caña o canales aliviaderos o canales de roca: concentrar los flujos en una estructura de recolección e instalar tubos de media caña o canales aliviaderos o de roca en pendientes pronunciadas.
	Cambiar la geometría de la superficie de la vía: alterar el ángulo del talud del terraplén mediante redondeo de banquetas y reducción de pendientes para reducir la erosión.
	Construir un muro: para proteger el talud de la erosión, el desmoronamiento y el desgaste. Puede construirse de diversos materiales, incluida roca, gaviones, tablestacas, hormigón, etc.
	Revestir de piedra el talud erosionado: revestimiento de piedra correctamente dimensionado a lo largo del talud del terraplén erosionado para resistir los efectos de socavación de los flujos de mayor velocidad.

Tipo	Opción
Erosión de superficie y banquina	Aumentar la elevación de la vía agregando material de relleno adecuado para elevar la superficie de la vía por encima de la cota de inundación de diseño.
	Construir protección contra erosión en la banquina, pavimentar banquina corriente abajo con pavimento de hormigón de asfalto, hormigón, ripio u otros revestimientos de protección adecuados.
	Incorporar alcantarillado con múltiples tubos: pueden instalarse con una alcantarilla existente en un lugar de cruce único, a la misma altura o bien a alturas diferentes. Las alcantarillas deben situarse a diferentes alturas en el terraplén y deben estar separadas por una distancia mayor a un décimo del diámetro de las alcantarillas individuales para minimizar la acumulación de sedimentos.
Daño o falla de alcantarillas producto de rebasamiento y/o erosión de terraplenes por capacidad insuficiente	Reemplazar con alcantarilla de tubo de mayor porte: permite el paso de un mayor volumen de agua.
	Aumentar la eficiencia de la entrada y/o de la salida: para aumentar la eficiencia puede recurrirse al redondeo de la entrada, anillos de bisel en la entrada, muros laterales, terminales en cola de pez, pavimentar el fondo de la entrada de la alcantarilla y/o paredes posteriores en forma de "U".
	Modificar el trazado de la alcantarilla: modificar el trazado horizontal/vertical para que coincida con la línea central y la pendiente de la corriente.
	Reemplazar por alcantarilla de cajón o alcantarilla arqueada: la alcantarilla de cajón y la arqueada ofrecen mayor capacidad en situaciones de bajo flujo.
	Reemplazar alcantarilla por puente.
	Reemplazar alcantarilla por (o agregar) un cruce de aguas bajas: depresión en la vía capaz de alojar los flujos anticipados o agregar una depresión en la vía sobre una alcantarilla.
Mejorar la capacidad del sistema de drenaje de aguas pluviales	Instalar cruce en desborde de aguas altas: las secciones de desborde en la vía alojarán flujos procedentes de zonas de la llanura de inundación del curso de agua. Proporciona vertedero de emergencia. Los cruces de desborde de aguas altas deben situarse en los canales laterales naturales.
	Construir cunetas con césped a lo largo de rutas.

Tabla AG.24. Transporte - puentes

Tipo	Opción
Traza deficiente	Construir muros laterales en puentes: instalar muros laterales en el ingreso/la salida de puentes para redireccionar el flujo hacia las luces del puente y eliminar la erosión debajo de pilas, estribos y terraplenes.
	Construir espigones: diseñados para dirigir el flujo de la inundación hacia la luz del puente. "Amarrados" al terraplén de la vía, deben instalarse en un ángulo que redirija el flujo y elimine una posible erosión.
	Instalar luces adicionales en el puente: deben colocarse luces/tramos adicionales en trazas fluviales históricas y/o posibles en sitios de cruce.
	Realinear pilas y estribos: realinear pilas/estribos para que queden paralelos a la línea central del curso de agua, reduciendo así el potencial de erosión a lo largo y debajo de pilas, estribos y taludes.
	Instalar bermas de aproximación: en zonas de desborde de cursos de agua. Las bermas deben alinearse de manera que el flujo sea dirigido hacia la alcantarilla y en los mismos ángulos que ésta, lejos del talud.
	Instalar desviadores de flujo: (rebordes) en cursos de agua. Diseñar rebordes para redireccionar el flujo lejos del talud y hacia la alcantarilla.
	Realinear el canal del curso de agua: el flujo del canal debe dirigirse hacia la alcantarilla y en el mismo ángulo que ésta, lejos del talud, para reducir la erosión a lo largo del talud y los daños a la alcantarilla.

Tipo	Opción
Capacidad insuficiente (tableros)	Eleva el tablero del puente: debe elevarse a un nivel suficiente para sobrepasar los flujos de inundación previstos.
	Reemplazar puente de armadura de acero por puente de tablero abierto: reduce las condiciones de remanso corriente arriba y elimina la acumulación de escombros si el puente se ve sobrepasado por el agua.
	Reemplazar puente de múltiples tramos por un puente de tramo único: reemplazar los múltiples tramos eliminará la necesidad de pilas y aumentará el flujo a través del puente, reduciendo el efecto de remanso corriente arriba.
	Aumentar el tamaño de la luz del puente: alargando la luz o elevando el tablero del puente. Disminuirá las condiciones de remanso corriente arriba y reducida los efectos del retiro de agua a través del puente.
	Construir una abertura de alivio: construir una o más aberturas de alivio a través del prisma de la vía en una ubicación que permita conducir las aguas de inundación excesivas. Debe situarse en canales laterales naturales y alineada con sectores de flujo elevado en las márgenes.
	Construir muros laterales en puentes: instalar muros laterales en acceso/salida de puentes para redireccionar el flujo hacia las aberturas del puente y eliminar la erosión debajo de pilas, estribos y terraplenes.
Socavación (pilas y estribos)	Instalar cruce en desborde de aguas altas: las secciones de desborde en la vía alojarán flujos procedentes de zonas de la llanura de inundación del curso de agua. Proporciona vertedero de emergencia. Los cruces de desborde de aguas altas deben situarse en los canales laterales naturales.
	Realignar pilas y estribos: realinear pilas/estribos para que queden paralelos a la línea central del curso de agua, reduciendo así el potencial de erosión a lo largo y debajo de pilas, estribos y taludes.
	Instalar aberturas adicionales en el puente: deben colocarse aberturas/tramos adicionales en trazas fluviales históricas y/o posibles en sitios de cruce.
Socavación (pilas y estribos)	Aumentar la profundidad de las fundaciones: aumentar la profundidad de las fundaciones de pilas y estribos por debajo de la profundidad prevista de la socavación del lecho del curso de agua o hasta el lecho de roca.
	Instalar deflectores de flujo: deflectores de flujo en forma de “V” en secciones corriente arriba de pilas/estribos, o inmediatamente corriente arriba de éstos. Instalar anillo de hormigón en las secciones inferiores de pilas inmediatamente por encima de la fundación. Extender las secciones inferiores de estribos y paredes laterales. Todos diseñados para desviar los flujos de inundación lejos de las pilas y los estribos y eliminar la socavación del lecho del curso de agua a lo largo y debajo de pilas y estribos.
	Instalar narices terminales semicirculares o triangulares: pueden instalarse en los extremos corriente arriba de las pilas para redireccionar las velocidades del flujo de inundación. Las narices terminales de pilas son una medida de protección, como las láminas metálicas adosadas a las pilas. También deben diseñarse para impedir la acumulación de escombros y proteger las pilas/los estribos del impacto de escombros.
Impacto de escombros (pilas y estribos)	Instalar deflectores de escombros: deben instalarse deflectores/aletas en los extremos corriente arriba de las pilas/los estribos y en un ángulo que dirija los escombros hacia zonas de altas velocidades de flujo. Deben tener forma de “V” y extenderse corriente arriba una distancia suficiente para orientar los escombros para que pasen fácilmente a través del puente.
	Instalar taludes: taludes (placas de acero) en los extremos corriente arriba de pilas de hormigón con narices terminales en forma de “V” o en los extremos de muros laterales y encuentros entre muro lateral/estribo para protegerlos de impactos.
	Reemplazar pilas de madera por pilas de hormigón: reemplazar pila con pilotes de madera por pila de hormigón sólido. Impide que los escombros se acumulen en la pila y protege de los impactos.
	Construir recolectores de escombros: como barreras para escombros (rejas de retención de cuerpos extraños) o represas de baja altura en pequeños tributarios corriente arriba. Deben diseñarse para atrapar los escombros y permitir el paso del flujo de agua. Si se construyen, deben incluir un aliviadero de emergencia.

Tipo	Opción
Mantenimiento regular	Limpiar con regularidad los escombros que puedan acumularse en el arriostramiento de apoyo debajo de puentes de escasa altura.
	Inspeccionar puentes e identificar si se requieren reparaciones o reforzamientos para evitar socavamiento.

AG.4. Opciones de mitigación de la amenaza por ola de calor

AG.4.1. Opciones generales de mitigación de la amenaza

Tabla AG.25. Planificación



Tipo	Opción
Reducir el calor urbano	Aumentar la plantación de árboles alrededor de edificios para proporcionar sombra a aparcamientos y a lo largo de las servidumbres de paso públicas.
	Incentivar la instalación de cubiertas verdes para proporcionar sombra y eliminar el calor de la superficie del techo y del aire que lo rodea.
	Utilizar productos para construcción de cubiertas frías que reflejen la luz solar y el calor fuera del edificio.
	Desincentivar el uso de colores oscuros para el asfalto y los espacios exteriores.
	Identificar centros refrigerados para el público.

Tabla AG.26. Programas de educación y concientización

Tipo	Opción
Concientización	Concientizar sobre el riesgo de la temperatura extrema y la seguridad
	Asistir a poblaciones vulnerables.



AG.5. Opciones de mitigación de la amenaza por viento huracanado

AG.5.1. Opciones generales de mitigación de la amenaza

Tabla AG.27. Planificación

Tipo	Opción
Adoptar y hacer cumplir códigos de construcción	Adoptar el Código de Construcción Internacional (IBC, por sus siglas en inglés) y el Código Residencial Internacional (IRC, por sus siglas en inglés).
	Adoptar normas para construcción residencial en regiones de vientos elevados del Consejo del Código Internacional (International Code Council (ICC)-600 Standards for Residential Construction in High-Wind Regions).
	Revisar códigos de construcción y políticas estructurales para asegurar que sean adecuadas para proteger estructuras más antiguas frente a los daños que pueda ocasionar el viento.
	Requerir o incentivar medidas de ingeniería relacionadas con el viento que pueden incluir el apuntalamiento estructural, correas y grapas, pernos de anclaje, vidrio laminado o resistente, puertas reforzadas, persianas en ventanas, tiras de sellado adhesivas resistentes al agua y/o tejas encastrables.
	Exigir ligaduras con anclas y anclas de piso adecuadas para el tipo de suelo para viviendas prefabricadas.
	Prohibir cocheras y espacios techados abiertos adosados a viviendas prefabricadas.
	Exigir tejas encastrables especiales diseñadas para encastrarse y resistir las fuerzas de subpresión en condiciones de viento extremas.
	Mejorar patrones de clavos.
	Exigir diseño de las fundaciones del edificio, plataformas elevadas arriostradas y protecciones contra fuerzas laterales de vientos y olas.
Promover o requerir normas en cuanto a emplazamiento y al diseño de edificios que minimicen los daños causados por el viento	Exigir que las chimeneas de mampostería nuevas situadas a más de 6 pies por encima del techo tengan arriostramiento de acero continuo reforzado.
	Exigir que las estructuras sobre cimientos temporarios están ancladas a cimientos permanentes.
	Utilizar elementos ambientales naturales como amortiguadores de viento al diseñar el sitio de emplazamiento.
	Incorporar ventilación pasiva en el diseño del edificio y del lugar de emplazamiento.
	Incentivar diseños arquitectónicos que limiten las posibilidades de escombros aéreos.
Evaluar la vulnerabilidad a vientos severos	Mejorar la normativa de diseño arquitectónico para una conducción óptima del viento.
	Incentivar formas de cubiertas resistentes al viento.
	Desarrollar y mantener una base de datos para controlar la vulnerabilidad de la comunidad a los vientos severos.
	Utilizar SIG para cartografiar zonas en riesgo de amenaza por viento con diferentes condiciones de huracanes.
	Crear un escenario de viento severo para estimar el potencial de pérdida de vidas, lesiones y daños.
	Utilizar un modelo de evaluación de riesgo para estimar de forma cuantitativa potenciales pérdidas como resultado de vientos huracanados.

Tipo	Opción
Proteger líneas e infraestructura de electricidad	Establecer normas para todos los servicios públicos con respecto a la poda de árboles en las inmediaciones de las líneas.
	Incorporar la inspección y la gestión de árboles peligrosos en el proceso de mantenimiento del sistema de drenaje.
	Realizar pruebas preventivas en perforaciones en las líneas eléctricas para determinar si se están en descomposición.
	Inspeccionar postes para asegurar que cumplan las especificaciones pertinentes y sean resistentes al viento.
	Soterrar líneas eléctricas para posibilitar suministro ininterrumpido luego de vientos severos, considerar cuestiones de mantenimiento y reparación.
	Mejorar cableados aéreos (dimensiones de postes, ancho de luces, resistencia de cables).
	Evitar extensiones aéreas hacia tuberías de agua, cloacales y de gas.
	Utilizar el módulo de falla de diseño en el diseño de líneas eléctricas para permitir que caigan o fallen en pequeñas secciones y no caiga o falle el sistema completo.
	Instalar redundancias y alimentadores en bucle.

Tabla AG.28. Estructura e infraestructura

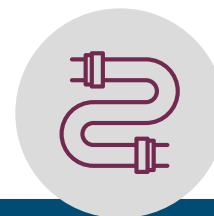
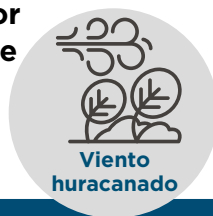
Tipo	Opción
Reforzar edificios públicos e instalaciones críticas	Mejorar las cubiertas de techos (sin grava, remover sistemas de techos balastrados).
	Anclar los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado montados en el techo.
	Reforzar edificios con conectores con camino de carga para fortalecer los marcos estructurales.
	Reforzar o construir un centro de operaciones de emergencia conforme a las normas FEMA 361.
	Evitar ubicar mástiles de banderas o antenas cerca de edificios.
	Mejorar y mantener los sistemas de protección contra rayos para evitar daños en la cubierta de techos.
	Exigir la mejora de edificios reutilizados que alberguen instalaciones críticas.
	Proteger semáforos y otros controles de tráfico contra vientos leves.
Reforzar edificios residenciales	Convertir los semáforos colgantes a semáforos sostenidos por brazos rígidos.
	Mejorar la envolvente del edificio.
	Instalar persianas a prueba de huracanes o implementar otras medidas de protección.
	Reforzar hastiales para eliminar fallas en el muro en caso de vientos fuertes.
	Reemplazar infraestructura existente no dúctil por infraestructura dúctil para reducir la exposición a eventos ocasionados por amenazas naturales.
	Reforzar edificios con conectores con camino de carga para fortalecer los marcos estructurales.
	Instalar recintos de seguridad.
	Reforzar puertas de garajes.
	Inspeccionar y reforzar cubiertas según normas adecuadas para que sean resistentes al viento.

Tabla AG.29. Programas de educación y concientización

Tipo	Opción
Concientización	Concientizar sobre el riesgo de vientos severos.

AG.5.2. Opciones de mitigación de la amenaza por viento huracanado para servicios de suministro de agua y de gestión de aguas residuales

Tabla AG.30. Servicios de suministro de agua y de gestión de aguas residuales



Tipo	Opción
Impactos producidos por vientos fuertes y escombros transportados por el viento en los equipos de los servicios, falla de estructuras de tanques	Anclar equipos: para soportar las cargas de viento generadas por vientos huracanados sin movimientos excesivos.
	Mejorar el anclaje o las estructuras de tanques: mejorar los anclajes a las fundaciones para estructuras de tanques verticales u horizontales para impedir que se deslicen, volteen o caigan.
	Eliminar estructuras secundarias o livianas integrando las funciones en el edificio principal.

AG.5.3. Opciones de mitigación de la amenaza por viento huracanado para infraestructura crítica

Tabla AG.31. Infraestructura crítica



Tipo	Opción
Elementos de pórtico de la estructura del edificio dañados por elevada presión del viento	Utilizar techos a cuatro aguas en lugar de techos con hastiales para aumentar la resistencia de la estructura del techo.
	Mejorar los techos con hastiales incorporando apuntalamiento lateral en los extremos de los hastiales.
	Instalar grapas o correas contra huracanes entre la estructura del techo y los muros para fortalecer las conexiones y evitar la falla del techo debido a presiones negativas del viento (succión).
	Instalar la cantidad necesaria de conectores del tamaño necesario y/o sujetadores para aplicar adhesivos de construcción para lograr capacidad estructural total de las conexiones.
	Eliminar estructuras secundarias o livianas integrando las funciones en el edificio principal.
	Anclar estructuras secundarias, como galpones de almacenamiento, utilizando conectores adicionales o correas.
	Mejorar las conexiones muro-fundación utilizando silletas o trabillas entre la estructura del muro y la fundación para fortalecer las conexiones y evitar la falla del muro por inundación por marea de tormenta o presiones de viento positivas (empuje) y/o negativas (succión). El miembro inferior de la estructura del muro debe estar abulonado a la fundación.

Tipo	Opción
Envolvente del edificio dañada por viento fuerte y escombros transportados por el aire	Asegurar el entablado de carga del techo: aumentar la cantidad de sujetadores, especialmente en esquinas, utilizar tornillos en lugar de clavos, combinar sujetadores con adhesivo.
	Mejorar los techos de tejas utilizando sujetadores adecuados, entarimado, venteo, etc., en zonas con vientos fuertes.
	Mejorar los sistemas de techo metálicos: aumentar la cantidad de sujetadores, espaciar los sujetadores de forma correcta, asegurar vierteaguas en esquinas y limatesas, limahoyas y cumbreras.
	Mejorar sistemas de techo de hormigón/teja de cerámica: mejorar los sistemas de conexión.
	Mejorar los techos con membrana: mejorar los sistemas de sujeción de membranas/aislaciones de techo mediante un diseño para vientos fuertes.
	Eliminar o mejorar balastro: mejorar o reemplazar techos balastrados con capa de grava.
	Mejorar vierteaguas, cumbreras y canaletas utilizando sujetadores y selladores correctos, aumentando las longitudes de las losas y con espaciado apropiado entre sujetadores.
	Anclar o reducir antetechos: anclar antetechos y techos de porches a la estructura con sujetadores mecánicos o eliminar antetechos cuando sea posible.
	Mejorar sofitos mediante la instalación de estructura metálica o de madera detrás del sofito y un mejor amarre de los paneles del sofito y ventilaciones.
	Reforzar revestimientos de vinilo y metálicos para muros exteriores agregando sujetadores y un espaciado correcto.
Los equipos de los servicios del edificio pueden dañarse como resultado de vientos huracanados	Mejorar puertas exteriores utilizando pasadores adecuados y materiales más fuertes en la construcción de puertas.
	Arriostrar los portones de garajes horizontal o verticalmente y reforzar los herrajes.
	Instalar persianas en ventanas (tipo acordeón, de enrollar o persianas del tipo de las utilizadas en Miami-Dade) para proteger ventanas/otras aberturas frente a roturas de vidrios ocasionadas por escombros aéreos.
	Reforzar vidrios de ventanas mediante película para vidrio o vidrio laminado.
Daños en cubierta/muro exterior ocasionados por ráfagas de lluvia	Anclar los equipos instalados en el techo utilizando sujetadores de tamaño y con espaciado adecuado.
	Reubicar los equipos situados en el techo en otros lugares con menor exposición a vientos huracanados.
	Anclar estructuras secundarias, como galpones de almacenamiento, utilizando conectores adicionales o correas.
Daños a las instalaciones de servicios ocasionados por ráfagas de lluvia	Mejorar protección contra humedad secundaria en entablonado de techo y muro exterior utilizando fieltro y otros materiales sujetos al recubrimiento debajo del techo o coberturas de muros.
	Protectores contra la intemperie alrededor de ventanas y puertas de ingreso; en zonas con vientos fuertes, considerar además diseñar un vestíbulo.
Daños a las instalaciones de servicios ocasionados por ráfagas de lluvia	Instalar ventilación resistente a la lluvia en el techo para reducir daños por infiltración de agua en edificios. Tubería de ventilación de cuello de ganso, tapas de ventilación fijas, techo para lluvia independientes, aletas para ventilaciones de descarga laterales (ventilaciones en J) y sellador adecuado en la junta entre la ventilación y la membrana del techo.

AG.5.4. Opciones de mitigación de la amenaza por viento huracanado para el transporte

Tabla AG.32. Transporte - vías



Tipo	Opción
Daño del viento a postes de luz y de tráfico	Reemplazar postes de retención por columnas con pescante: los postes de retención que sostienen luces en cables suspendidos son particularmente propensas a dañarse. Reemplazar por columnas con pescante.
	Reemplazar postes de retención por columnas con mayor resistencia: los postes de retención que sostienen luces en cables suspendidos son particularmente propensas a dañarse. Reemplazar por columnas de mayor resistencia.
Daño producido por el viento a señales suspendidas y señales viales	Reforzar señales viales y suspendidas utilizando mejores materiales de construcción de señales, mayor tamaño y mayor cantidad de conectores y sujetadores, y un mejor anclaje de postes.
	Reemplazar postes de retención por columnas con pescante: los postes de retención que sostienen luces en cables suspendidos son particularmente propensas a dañarse. Reemplazar por columnas con pescante.
	Reemplazar postes de retención por columnas con mayor resistencia: los postes de retención que sostienen luces en cables suspendidos son particularmente propensas a dañarse. Reemplazar por columnas de mayor resistencia.

AG.6. Opciones de mitigación de la amenaza por marea de tormenta

AG.6.1. Opciones generales de mitigación de la amenaza

Tabla AG.33. Planificación



Tipo	Opción
Adoptar códigos de construcción y normativas de desarrollo	Adoptar el Código de Construcción Internacional (IBC, por sus siglas en inglés) y el Código Residencial Internacional (IRC, por sus siglas en inglés).
	Adoptar la norma ASCE-24-05 sobre diseño y construcción resistente a las inundaciones.
	Establecer normas de diseño para edificios situados en zonas susceptibles a mareas de tormenta.
	Implementar requerimientos de construcción para zona V para nuevos desarrollos situados en zonas A.
	Adoptar requerimientos edilicios sobre mayor elevación en zonas de inundación.
	Requerir fundaciones abiertas (por ejemplo, pilotes o pilas) en zonas costeras.
	Requerir fundaciones profundas para evitar erosión y socavamiento.

Tipo	Opción
Mejorar la planificación y las regulaciones en materia de uso del suelo	Desarrollar y mantener plan de gestión de playas.
	Adoptar regulaciones sobre retiros respecto de la línea de la costa y establecer retiros costeros.
	Adoptar regulaciones para gestión de zonas costeras.
	Eliminar todas las obstrucciones en áreas a lo largo de la costa sujetas a eventos de inundación con probabilidad de ocurrencia del 1% anual con amenazas adicionales asociadas a oleaje inducido por tormentas.
	Prever alturas de mareas de tormenta futuras a causa del aumento del nivel del mar.
	Limitar o prohibir el desarrollo en áreas a lo largo de la costa sujetas a eventos de inundación con probabilidad de ocurrencia del 1% anual con amenazas adicionales asociadas a oleaje inducido por tormentas.
	Adoptar zonas costeras A en zonas de amenaza especial por inundación tierra adentro y que están sujetas a oleaje de entre 1,5 y 3 pies; asegurarse de que sean cartografiadas con exactitud.
Minimizar el riesgo a nuevas instalaciones e infraestructura	Adoptar y hacer cumplir zonas A costeras en zonas A.
	Situar instalaciones críticas futuras fuera de áreas susceptibles a mareas de tormenta.
	Requerir que todas las infraestructuras críticas se construyan 1 pie por encima de la cota de inundación del periodo de retorno de 500 años.

Tabla AG.34. Estructura e infraestructura

Tipo	Opción
Construir técnicas de control estructurales	Construir rompeolas para capturar material a lo largo de la línea de la costa y atrapar y retener arena.
	Instalar tubos de arena geotextiles para atrapar arena o proteger las estructuras del frente de la playa.
	Construir una berma costera para absorber el oleaje y proteger la línea de la costa de la erosión.
	Construir una berma para tormentas para mantener la protección de la roca en su sitio y proporcionar sedimentos lentamente a la tormenta costera.
Proteger infraestructura e instalaciones críticas	Reorientar vías cercanas a la costa para que estén paralelas a la playa y evitar canalización de la marea de tormenta y viento hacia la tierra.
	Construir un malecón u otra estructura para proteger instalaciones críticas situadas en la línea de la costa.
	Reubicar instalaciones críticas vulnerables fuera de zonas de alto riesgo.

Tabla AG.35. Protección de sistemas naturales

Tipo	Opción
Proteger y restaurar amortiguadores naturales	Examinar la implementación adecuada de alimentación de playa, extracción de arena de la zona intermareal para formación de dunas, tapones de espacios entre dunas, etc., ante las amenazas que afectan la costa.
	Implementar restauración de dunas, plantación y uso de materiales naturales.
	Evaluar uso apropiado de vegetación para retención de sedimentos, montes de sedimentos, etc., para amenazas costeras.
	Plantar vegetación de retención de sedimentos para que la costa sea más resistente a las tormentas recolectando sedimentos en las dunas o islas barrera.
	Extraer arena de la zona intermareal para formación de dunas y así reforzar la playa sin agregar arena nueva.
	Utilizar montes de sedimento para que actúen como dunas artificiales o tapones en los espacios naturales entre dunas para hacer más lento el avance hacia la tierra o las mareas de tormenta y el viento.

Tabla AG.36. Programas de educación y concientización

Tipo	Opción
Concientización	Brindar información sobre zonas de alto riesgo

AG.6.2. Opciones de mitigación de la amenaza por marea de tormenta para el servicio de suministro de agua

Tabla AG.37. Servicio de suministro de agua - planta de tratamiento

Tipo	Opción
La inundación producto de mareas de tormenta daña los equipos a nivel de planta baja	Reubicar los servicios en un sitio seguro lejos de la amenaza.
	Elevar y/o sellar componentes vulnerables de servicios, incluidos componentes eléctricos y puntos de acceso por encima de la cota de inundación de diseño.
	Anclar y amarrar instalaciones que puedan flotar: dotar de anclajes y amarres a los tanques de combustible y otras instalaciones que puedan flotar como oficinas móviles, edificios para almacenamiento y equipos para que no sean arrastrados.
La erosión y socavación causada por la marea de tormenta daña los equipos	Reubicar los servicios en un sitio seguro lejos de la amenaza.
	Elevar y/o sellar componentes vulnerables de servicios, incluidos componentes eléctricos y puntos de acceso por encima de la cota de inundación de diseño.

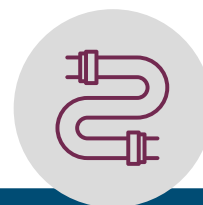


Tabla AG.38. Suministro de agua - tuberías

Tipo	Opción
La inundación ocasionada por la marea de tormenta puede superar la capacidad de las estructuras de drenaje como cunetas o tubos	Aumentar la capacidad de las cunetas: aumentar la capacidad de las cunetas de las vías aumentando su profundidad y/o ancho.
	Reemplazar con alcantarilla de tubo de mayor porte: permite el paso de un mayor volumen de agua.
	Incorporar alcantarillado con múltiples tubos: pueden instalarse con una alcantarilla existente en un lugar de cruce único, a la misma altura o bien a alturas diferentes. Las alcantarillas deben situarse a diferentes alturas en el terraplén y deben estar separadas por una distancia mayor a un décimo del diámetro de las alcantarillas.
Erosión y socavación en canales de irrigación	Instalar recubrimiento en la cuneta: recubrir con roca, hormigón, asfalto o vegetación para impedir su erosión. Materiales más grandes y de granulación más gruesa utilizados para protección contra flujos de alta velocidad.
Erosión y socavamiento de las estructuras de protección de la línea de la costa	Mejorar las estructuras de protección de la línea de la costa incluidos rompeolas, tajamares, escolleras y protecciones de talud para reducir la erosión y el daño por socavamiento. Las mejoras incluyen fundaciones más profundas, refuerzo de bases, mejores materiales y colchones filtradores.
Escombros producidos por mareas de tormenta	Instalar barrera de ingreso de escombros: barrera de escombros para evitar la obstrucción de la alcantarilla o aletas para escombros para orientar los escombros flotantes para que pasen con facilidad por la alcantarilla. Instalar rejilla en forma de "V" o semicircular en la entrada de la alcantarilla o rejilla recta en los extremos de los muros laterales para permitir que el agua sobrepase la rejilla cuando se acumulan escombros.
	Instalar alcantarilla de alivio: debe situarse en el sitio de cruce y en el terraplén por encima de la línea de flujo de la alcantarilla principal. Ofrece una ruta alternativa para el flujo en caso de que la alcantarilla principal se tape.
La inundación causada por la marea de tormenta daña la transmisión y la distribución	Proteger líneas de servicios públicos como las líneas de transmisión y distribución eléctricas, de comunicación, gas y agua con hormigón y/o conductos para protegerlas de los efectos dañinos.
	Recubrir tubos dañados: recubrir internamente los tubos de tormenta para impedir infiltraciones y/o pérdidas y la erosión y sedimentación asociada. También impide flujos mayores debido a la infiltración de agua subterránea excesiva que podría hacer colapsar la instalación del servicio.
La erosión y socavación causada por la marea de tormenta daña los equipos	Proteger líneas de servicios públicos como las líneas de transmisión y distribución eléctricas, de comunicación, gas y agua con hormigón y/o conductos para protegerlas de los efectos dañinos.
	Recubrir tubos dañados: recubrir internamente los tubos de tormenta para impedir infiltraciones y/o pérdidas y la erosión y sedimentación asociada. También impide flujos mayores debido a la infiltración de agua subterránea excesiva que podría hacer colapsar la instalación del servicio.

AG.6.3. Opciones de mitigación de la amenaza por marea de tormenta para el servicio de gestión de aguas residuales

Tabla AG.39. Gestión de aguas residuales - plantas de tratamiento



Tipo	Opción
La inundación producto de mareas de tormenta daña los equipos a nivel de planta baja	<p>Reubicar los servicios en un sitio seguro lejos de la amenaza.</p> <p>Elevar y/o sellar componentes vulnerables de servicios, incluidos componentes eléctricos y puntos de acceso por encima de la cota de inundación de diseño.</p> <p>Anclar y amarrar instalaciones que puedan flotar: dotar de anclajes y amarres a los tanques de combustible y otras instalaciones que puedan flotar como oficinas móviles, edificios para almacenamiento y equipos para que no sean arrastrados.</p>
La erosión y socavación causada por la marea de tormenta daña los equipos	<p>Reubicar los servicios en un sitio seguro lejos de la amenaza.</p> <p>Elevar y/o sellar componentes vulnerables de servicios, incluidos componentes eléctricos y puntos de acceso por encima de la cota de inundación de diseño.</p>

Tabla AG.40. Suministro de agua - tuberías

Tipo	Opción
La inundación ocasionada por la marea de tormenta puede superar la capacidad de las estructuras de drenaje como cunetas o tubos	<p>Aumentar la capacidad de las cunetas: aumentar la capacidad de las cunetas de las vías aumentando su profundidad y/o ancho.</p> <p>Reemplazar con alcantarilla de tubo de mayor porte: permite el paso de un mayor volumen de agua.</p> <p>Incorporar alcantarillado con múltiples tubos: pueden instalarse con una alcantarilla existente en un lugar de cruce único, a la misma altura o bien a alturas diferentes. Las alcantarillas deben situarse a diferentes alturas en el terraplén y deben estar separadas por una distancia mayor a un décimo del diámetro de las alcantarillas.</p>
Erosión y socavación en canales de irrigación	<p>Instalar recubrimiento en la cuneta: recubrir con roca, hormigón, asfalto o vegetación para impedir su erosión. Materiales más grandes y de granulación más gruesa utilizados para protección contra flujos de alta velocidad.</p>
Erosión y socavamiento de las estructuras de protección de la línea de la costa	<p>Mejorar las estructuras de protección de la línea de la costa incluidos rompeolas, tajamares, escolleras y protecciones de talud para reducir la erosión y el daño por socavamiento. Las mejoras incluyen fundaciones más profundas, refuerzo de bases, mejores materiales y colchones filtradores.</p>
Escombros producidos por mareas de tormenta	<p>Instalar barrera de ingreso de escombros: barrera de escombros para evitar la obstrucción de la alcantarilla o aletas para escombros para orientar los escombros flotantes para que pasen con facilidad por la alcantarilla. Instalar rejilla en forma de "V" o semicircular en la entrada de la alcantarilla o rejilla recta en los extremos de los muros laterales para permitir que el agua sobrepase la rejilla cuando se acumulan escombros.</p> <p>Instalar alcantarilla de alivio: debe situarse en el sitio de cruce y en el terraplén por encima de la línea de flujo de la alcantarilla principal. Ofrece una ruta alternativa para el flujo en caso de que la alcantarilla principal se tape.</p>
La inundación causada por la marea de tormenta daña la transmisión y la distribución	<p>Proteger líneas de servicios públicos como las líneas de transmisión y distribución eléctricas, de comunicación, gas y agua con hormigón y/o conductos para protegerlas de los efectos dañinos.</p> <p>Recubrir tubos dañados: recubrir internamente los tubos de tormenta para impedir infiltraciones y/o pérdidas y la erosión y sedimentación asociada. También impide flujos mayores debido a la infiltración de agua subterránea excesiva que podría hacer colapsar la instalación del servicio.</p>

Tipo	Opción
La erosión y socavación causada por la marea de tormenta daña los equipos	Proteger líneas de servicios públicos como las líneas de transmisión y distribución eléctricas, de comunicación, gas y agua con hormigón y/o conductos para protegerlas de los efectos dañinos.
	Recubrir tubos dañados: recubrir internamente los tubos de tormenta para impedir infiltraciones y/o pérdidas y la erosión y sedimentación asociada. También impide flujos mayores debido a la infiltración de agua subterránea excesiva que podría hacer colapsar la instalación del servicio.

Tabla AG.41. Suministro de agua - tuberías

Tipo	Opción
Inundación de elementos estructurales y no estructurales	Elevar edificio en pilares para que el miembro estructural horizontal más bajo se encuentre sobre o por encima de la cota de inundación base de acuerdo con los requisitos para construcción en “zona V”.
	Instalar muros de seguridad para cerrar el área debajo de los edificios costeros elevados utilizados para aparcamiento, acceso y almacenamiento.
	Mejorar las fundaciones de pilotes mediante mejoras en las conexiones entre el pilote y la viga y arriostramiento lateral adecuado para tramos del pilote no sostenidos.
	Instalar aberturas en muros de cimentación, sótanos bajos: los muros de cimentación de sótanos bajos en edificios costeros deben reforzarse con aberturas. La parte superior del piso más bajo debe situarse en o por encima de la cota de inundación base de acuerdo con los requisitos para construcción en “zona A”.
	Mejorar las conexiones muro-fundación utilizando silletas o trabillas entre la estructura del muro y la fundación para fortalecer las conexiones y evitar la falla del muro por inundación por marea de tormenta o presiones de viento positivas (empuje) y/o negativas (succión). El miembro inferior de la estructura del muro debe estar abulonado a la fundación.
	Utilizar materiales de construcción resistentes a la inundación: construir muros y pisos debajo de la cota base de inundación con materiales resistentes a la inundación. Esta medida de impermeabilización en mojado reduce daños y el tiempo de limpieza de muros y pisos sujetos a la acción de huracanes y otros eventos de inundación costera.
	Reubicar edificio: todo el edificio fuera de la zona inundable y en zona segura fuera de la llanura de inundación de 100 años de periodo de retorno o 500 años de periodo de retorno si se trata de una instalación crítica.
	Edificio protegido contra inundación en mojado: permitir que el agua de inundación ingrese a las partes seleccionadas de la instalación en zonas que no son vulnerables al daño por saturación de agua utilizando métodos de construcción resistentes al agua, diseñando aberturas para el paso del agua y elevando los sistemas vulnerables.
	Edificio protegido contra inundación en seco: sellar el edificio para que el agua de inundación no ingrese, por ejemplo, (1) construyendo muros de contención exteriores, (2) berma impermeable alrededor de la instalación, (3) sellando el edificio con material resistente al agua.
	Instalar dispositivos de prevención de reflujo en drenajes cloacales: dispositivos de prevención de reflujo, incluidas válvulas unidireccionales y comunes en las líneas cloacales y drenajes de piso. Los dispositivos evitan que las aguas residuales y/o de tormenta reingresen en la instalación.

Tipo	Opción
Inundación de servicios y equipos del edificio	Instalar circuitos de interruptor de falla terrestre (GFI) o interruptores de desconexión automática que cierren el circuito eléctrico en caso de que los equipos eléctricos se inunden a causa de la marea de tormenta.
	Elevar los equipos de calefacción, ventilación y aire acondicionado por encima de la cota de inundación base para minimizar los efectos dañinos de las fuerzas del oleaje rompiente, la erosión y el socavamiento en el condensador y otros equipos.
	Elevar el filtro de piscina y equipos de bombeo, ventilación y aire acondicionado por encima de la cota de inundación base para minimizar los efectos dañinos de las fuerzas del oleaje rompiente, la erosión y el socavamiento en el condensador y otros equipos.
	Elevar elevadores y/o equipos de control de elevadores como equipos eléctricos, bombas hidráulicas, motores y sistemas de control, por encima de la cota de inundación base.
	Construir cerramientos de piso resistentes para los equipos alrededor de los servicios del edificio y equipos clave situados debajo de la cota de inundación de diseño.
	Asegurar tanques de combustibles y de otro tipo situados por debajo de la cota de inundación de diseño para que resistan la flotación.
Erosión y socavación costera causada por mareas de tormenta	Restaurar y mantener dunas costeras: las dunas de arena pueden brindar una defensa natural contra las fuerzas de la inundación costera.
La corrosión del rocío y la humedad salina puede debilitar el metal de los edificios costeros.	Utilizar conectores y sujetadores resistentes a la corrosión: en todas las conexiones exteriores y en revestimientos en edificios en zonas costeras.
	Aumentar el tamaño/calibre de conectores: utilizar pernos de calibre más grande y/o clavos y placas conectoras de mayor calibre que el requerido en entornos costeros.
	Aplicar recubrimientos de protección en los elementos del edificio expuestos para evitar contacto con el rocío salino/agua de mar.
	Utilizar sistemas por corriente impresa para proteger contra la corrosión el acero de refuerzo en elementos exteriores de hormigón reforzado.

AG.6.4. Opciones de mitigación de la amenaza por marea de tormenta para el transporte

Tabla AG.42. Transporte - vías



Tipo	Opción
Inundación	Elevar/proteger contra la inundación las cajas de control de señales de tráfico: elevar las cajas de control de señales de tráfico montadas en postes y a nivel de la rasante por encima de la cota de inundación designada. Si no es posible elevarla, la caja puede sellarse para impedir el ingreso del agua de inundación.
	Reemplazar vías de ripio por asfalto u hormigón para evitar daños por inundación y ayudar a minimizar la posibilidad de escombros transportados por el agua o por el viento.
	Aumentar la elevación de la vía agregando material de relleno adecuado para elevar la superficie de la vía por encima de la cota de inundación de diseño.
Erosión y socavación en cunetas de la vía	Aumentar la capacidad de las cunetas: aumentar la capacidad de las cunetas de las vías aumentando su profundidad y/o ancho.
	Instalar recubrimiento en la cuneta: recubrir con roca, hormigón, asfalto o vegetación para impedir su erosión. Materiales más grandes y de granulación más gruesa utilizados para protección contra flujos de alta velocidad.

Tipo	Opción
Erosión y socavación en superficies y banquetas de la vía	Reubicar la vía fuera de las zonas inundables o sujetas a la acción del oleaje.
	Estabilización del suelo/geotextiles: estabilizar los suelos expuestos en vías no pavimentadas y/o banquetas. Aumenta la capacidad de la vía y la banquina de soportar las fuerzas hidrodinámicas producidas por la submersión y la acción del oleaje.
	Reemplazar vías de ripio por asfalto u hormigón para evitar daños por inundación y ayudar a minimizar la posibilidad de escombros transportados por el agua o por el viento.
	Aumentar la elevación de la vía agregando material de relleno adecuado para elevar la superficie de la vía por encima de la cota de inundación de diseño.
	Construir protección contra erosión en la banquina, pavimentar banquina corriente abajo con pavimento de hormigón de asfalto, hormigón, ripio u otros revestimientos de protección adecuados.
Drenaje	Reubicar alcantarillas a un lugar con menos probabilidades de verse afectado por flujos dañinos. El cruce puede trasladarse tierra adentro para quedar fuera de la zona afectada por la marea de tormenta costera y la acción del oleaje.
	Dotar de protección de bioingeniería los taludes de terraplenes cubriendo el talud con vegetación de raíz profunda y, en los sectores adyacentes en contacto con un curso de agua, anclar estratégicamente detritos de madera que fijen el suelo y lo protejan de la erosión.
	Cambiar la geometría de la superficie de la vía: alterar el ángulo del talud del terraplén mediante redondeo de banquetas y reducción de pendientes para reducir la erosión.
	Revestir de piedra el talud erosionado: revestimiento de piedra correctamente dimensionado a lo largo del talud del terraplén erosionado para resistir los efectos de socavación de los flujos de mayor velocidad.
	Configurar el ingreso de la alcantarilla para que coincida con la pendiente del talud o con la alineación del curso de agua.
	Instalar alcantarilla y secciones adecuadas: muro terminal, muro lateral, terminales de cola de pez para dirigir el flujo hacia y fuera de la alcantarilla.
	Construir un dissipador de energía para minimizar la socavación en la salida de la alcantarilla. Los diseños pueden incluir plataformas en pendiente de roca o de hormigón, salidas tipo “cubeta” que arrojan el chorro corriente abajo, vaso de amortiguamiento, etc.

Tabla AG.43. Transporte - puentes

Tipo	Opción
Inundación	Reubicar el puente en un lugar con menos probabilidades de verse afectado por flujos dañinos.
	Construir muros laterales en puentes: instalar muros laterales en accesos de entrada/salida de puentes para redireccionar el flujo hacia las aberturas del puente y eliminar la erosión debajo de pilas, estribos y terraplenes.
	Elevar el tablero del puente: debe elevarse a un nivel suficiente para sobrepasar los flujos de inundación previstos.
	Reemplazar puente de armadura de acero por puente de tablero abierto: reduce las condiciones de remanso corriente arriba y elimina la acumulación de escombros si el puente se ve sobrepasado por el agua.
	Reemplazar puente de múltiples tramos por un puente de tramo único: reemplazar los múltiples tramos eliminará la necesidad de pilas y aumentará el flujo a través del puente, reduciendo el efecto de remanso corriente arriba.
	Aumentar el tamaño de la luz del puente: alargando la luz o elevando el tablero del puente. Disminuirá las condiciones de remanso corriente arriba y reducirá los efectos del retiro de agua a través del puente.

Tipo	Opción
Erosión y socavamiento de puentes	Proteger ingresos y estribos con ripio: colocar ripio en el ingreso y estribo del puente.
	Reubicar el puente en un lugar con menos probabilidades de verse afectado por flujos dañinos. El cruce puede trasladarse tierra adentro para quedar fuera de la zona afectada por la marea de tormenta costera y la acción del oleaje.
	Construir muros laterales en puentes: instalar muros laterales en accesos de entrada/salida de puentes para redireccionar el flujo hacia las aberturas del puente y eliminar la erosión debajo de pilas, estribos y terraplenes.
	Reemplazar puente de múltiples tramos por un puente de tramo único: reemplazar los múltiples tramos eliminará la necesidad de pilas y aumentará el flujo a través del puente, reduciendo el efecto de remanso corriente arriba.
Daños a puentes ocasionados por escombros	Reubicar el puente en un lugar con menos probabilidades de verse afectado por flujos dañinos. El cruce puede trasladarse tierra adentro para quedar fuera de la zona afectada por la marea de tormenta costera y la acción del oleaje.
	Instalar deflectores de escombros: deben instalarse deflectores/aletas en los extremos corriente arriba de las pilas/los estribos y en un ángulo que dirija los escombros hacia zonas de altas velocidades de flujo. Deben tener forma de "V" y extenderse corriente arriba una distancia suficiente para orientar los escombros para que pasen fácilmente a través del puente.
	Construir muros laterales en puentes: instalar muros laterales en accesos de entrada/salida de puentes para redireccionar el flujo hacia las aberturas del puente y eliminar la erosión debajo de pilas, estribos y terraplenes.
	Reemplazar puente de múltiples tramos por un puente de tramo único: reemplazar los múltiples tramos eliminará la necesidad de pilas y aumentará el flujo a través del puente, reduciendo el efecto de remanso corriente arriba.

AG.7. Opciones de mitigación de la amenaza por deslizamiento de tierra

AG.7.1. Opciones generales de mitigación de la amenaza

Tabla AG.44. Planificación



Tipo	Opción
Cartografiar y evaluar la vulnerabilidad a los deslizamientos de tierra	Estudiar zonas donde pueden ocurrir deslizamientos en riberas.
	Realizar inventario de lugares donde hay instalaciones e infraestructuras críticas vulnerables a deslizamientos de tierra.
	Utilizar SIG para identificar y cartografiar zonas vulnerables a la amenaza por deslizamiento de tierra.
	Desarrollar y mantener una base de datos para controlar la vulnerabilidad de la comunidad.
	Evaluar la vegetación en zonas susceptibles a sufrir incendios para evitar deslizamientos de tierra luego de ocurrido un incendio.
Gestionar el desarrollo en las zonas vulnerables a la amenaza por deslizamiento de tierra	Crear un plan para implementar medidas de reforzamiento en zonas de alto riesgo.
	Definir zonas con pendientes pronunciadas/de alto riesgo en planes de uso del suelo y planes integrales y desarrollar directrices para restringir nuevos desarrollos en dichas zonas.
	Crear o aumentar los límites de retiros en parcelas cercanas a zonas de alto riesgo.
	Situar los servicios públicos fuera de las zonas de deslizamiento de tierra para disminuir el riesgo de interrupción del servicio.
	Restringir o limitar la actividad industrial que eliminan la capa superior del suelo en pendientes.
	Incorporar restricciones de desarrollo de actividad económica en zonas de alto riesgo.

Tabla AG.45. Estructura e infraestructura

Tipo	Opción
Evitar impactos en las vías	Implementar procedimientos de monitoreo.
	Implementar medidas de estabilización de suelos, como plantar vegetación estabilizadora en pendientes pronunciadas de propiedad pública.
	Implementar medidas relacionadas con flujo de escombros para reducir el daño en zonas en pendiente, por ejemplo, estabilización, disipación de energía y medidas de control de flujos.
	Establecer requisitos relacionados con retiros y dejar retiros amplios al construir vías cercanas a pendientes de estabilidad marginal.
	Instalar redes de contención para caídas de rocas en pendientes pronunciadas cerca de vías.
Eliminar los edificios y la infraestructura existente de las zonas vulnerables a la amenaza por deslizamiento	Las comunidades pueden adquirir y demoler o reubicar edificios e infraestructura en riesgo y hacer cumplir restricciones permanentes sobre desarrollo luego de la adquisición de la tierra y la estructura.

AG.7.2. Opciones de mitigación de la amenaza por deslizamiento de tierras aplicables a todos los proyectos

Tabla AG.46. Todos los proyectos - estabilización de suelos en pendientes

Tipo	Opción
Excavar para estabilizar pendientes	Excavar y remover suelo de la cabeza de un potencial deslizamiento.
	Reducir la altura de la pendiente para reducir las fuerzas motrices.
	Excavar el suelo superior y reemplazar con material de relleno ligero, como trozos de madera o residuos de poda.
	Cortar bancos como series de “escalones” en el suelo profundo o en la cara de la roca para reducir las fuerzas motrices.
	Suavizar o reducir el ángulo de la pendiente para reducir el peso de material y la posibilidad de socavación por parte de la corriente o la carga estructural.
Reforzar pendientes	El refuerzo mediante malla plástica forma una red ligera altamente resistente a la tensión que refuerza el suelo.
	Los contrafuertes o bermas de roca aumentan el peso del material al “pie” y crean una contrafuerza que resiste la falla de la pendiente.
	Para revestir canales de cursos de agua se suele utilizar mortero blando inyectado con hormigón de alta calidad y reforzado con manta de fibra.
	Las represas de control son represas pequeñas para almacenamiento de sedimentos construidas en canales de arroyos empinados para estabilizar el lecho del canal.

Tipo	Opción
Técnicas de drenaje: el agua subterránea es el factor principal que contribuye al inicio del deslizamiento de tierra	La nivelación del lugar para suavizar la topografía de la superficie de deslizamiento puede evitar que el agua superficial se acumule o se conecte con el agua subterránea.
	Las cunetas y drenajes pueden ser cunetas superficiales o drenajes subsuperficiales someros. El drenaje superficial es importante en la cabecera del deslizamiento, donde el sistema de zanjas perimetrales cruza el muro de cabecera del deslizamiento y los drenajes laterales dirigen la escorrentía alrededor del borde del deslizamiento.
	Comúnmente se utilizan tubos de drenaje horizontales para prevención de deslizamientos de tierra en la construcción de vías principales.
	Los tubos y los fardos de paja son cilindros de paja comprimida libre de maleza instalados en zanjas poco profundas formando una barrera continua a lo largo de un contorno (cruzando una pendiente) para interceptar el agua que corre barranca abajo.
Muros de retención	Los muros de contención de entramado de madera son estructuras de cajones contruídos con trabas encastrables rellenos con un agregado grueso.
	Muros de contención de cajones de acero contruídos de componentes de acero galvanizado corrugado abulonados para formar una caja y luego rellenos con tierra.
	El muro de tierra reforzado es un sistema patentado para contruuir rellenos en ángulos muy pronunciados a verticales sin utilizar estructuras de apoyo en la cara del relleno.
	Los muros de retención de gabiones son contenedores tipo caja de malla de alambre rellenos de rocas de tamaño un adoquían de 10 a 20 cm.
Estabilización de pendientes mediante vegetación: pasto, legumbres, arbustos, para aumentar la estabilidad de la pendiente y reducir la erosión superficial.	Se pueden colocar pilares de gran diámetro al pie de la pendiente para formar un sistema de pilares verticales de escasa distancia unos de otros.
	El sembrado en seco se realiza con un disco rotativo y sembradoras con soplado de aire.
Protección biotécnica de pendientes: suelo de compuestos/ cuerpos estructurales con vegetación para proteger pendientes.	El sembrado hidráulico o hidrosembrado es la aplicaiación de semillas en un fertilizador pastoso con contenido de agua, ligante de suelo y/o mantillo.
	La estabilización biotécnica utiliza elementos mecánicos combinados con elementos biológicos para evitar y deterner la falla y la erosión de pendientes.
Protección biotécnica de pendientes: suelo de compuestos/ cuerpos estructurales con vegetación para proteger pendientes.	La estabilización de suelos mediante bioingeniería utiliza principalmente materiales nativos como tallos o ramaas de plantas, rocas, madera o suelo.

Tabla AG.47. Todos los proyectos - estabilización de pendientes de roca

Tipo	Opción
Técnicas de retención seguras	Las cunetas de captación son eficaces para contener desprendimientos de roca pero deben diseñarse con la geometría del barranco. El fondo de la cuneta debe cubrirse con tierra suelta para evitar el rebote de escombros.
	Las cortinas de cable, malla, vallado y roca funcionan para atrapar/inmovilizar escombros sueltos o desprendidos.
	Los muros de retención funcionan según lo descrito en estabilización de suelos para mantener los escombros de desprendimientos de roca fuera de una zona. Son más sustanciales y fuertes que las vallas para desprendimientos de roca. Hechos de acero, hormigón, madera u otro material.
	Los refugios/galpones de protección contra desprendimientos de roca se construyen sobre las vías y en ocasiones se construyen estructuras para proteger una zona de desprendimientos y avalanchas de roca.
Excavación de la roca	El resfuerzo de roca virgen no es común ya que es adecuado solo en situaciones especiales y debe diseñarse cuidadosamente.
	Los bancos horizontales cortados en la pared de roca son el tipo de protección más eficaz contra el desprendimiento de rocas.
Reforzar posibles zonas de desprendimiento de rocas	Descamación y recorte de la roca suelta o inestable y/o la remoción de rocas suspendidas.
	El hormigón proyectado y la gunita son tipos de hormigón aplicados por jet de aire directamente en la superficie de una pared de roca inestable.
	Las anclas, pernos y estaquillas son cuerdas o cables de acero que refuerzan y enlazan una pared de roca para mejorar la estabilidad.

Tabla AG.48. Todos los proyectos - flujo de escombros

Tipo	Opción
Reforzar las pendientes contra la erosión/los flujos de escombros	Reforzar el suelo para resistir la erosión; puede realizarse incorporando paja o escamas de madera al suelo.
	Adecuada plantación de vegetación en pendientes para evitar la erosión.
	Mantener pendientes libres de combustible para incendios forestales ya que las pendientes incendiadas en zonas proclives al flujo de escombros pueden volverse peligrosas.
Estructuras para mitigar los flujos de escombros	Los vasos captadores de arrastres se construyen en la base de las pendientes donde los flujos de escombros son frecuentes. Los escombros deben ser contenidos para que no fluyan más allá del vaso.
	Las paredes para retención de escombros se diseñan para detener el progreso de desprendimiento de escombros o desviarlo de una zona vulnerable.
Mitigación de la formación de represas de deslizamientos de tierra	El desvío de agua antes de que llegue al lago formado por la represa producto del deslizamiento de tierra se puede realizar desviando agua de la corriente a reservorios o sistemas de riego corriente arriba.
	El drenaje temporario de acumulaciones de agua mediante bombeo o sifones ayuda a controlar el aumento en los niveles de agua.
	Construir canal aliviadero resistente a la erosión transversal a la represa o al contrafuerte adyacente para controlar el rebalse de agua.
	Un método utilizado desde hace años para impedir el rebalse y la rotura es la construcción de un túnel de drenaje a través del contrafuerte.

Tabla AG.49. Todos los proyectos - mitigación del flujo de escombros en edificios

Tipo	Opción
Barreras	Los muros de deflección y las vallas para escombros pueden ayudar a redireccionar los flujos alrededor y corriente abajo de un edificio.
	Las bolsas de arena para protección contra flujos lentos de hasta 2 pies deben colocarse para conducir los escombros fuera del edificio y entre otros edificios.
	Barrera removible para puertas o ventanas para impedir que los escombros ingresen al edificio.
	Barrea removible para acceso al garge con postes de metal junto con muro/vallado para evitar que los escombros ingresen a las instalaciones.

AG.8. Opciones de mitigación de la amenaza por tsunami

AG.8.1. Opciones generales de mitigación de la amenaza

Tabla AG.50. Planificación

Tipo	Opción
Cartografiar y evaluar la vulnerabilidad a los tsunamis	Utilizar SIG para cartografiar áreas vulnerables a inundación por tsunami.
	Desarrollar y mantener una base de datos para controlar la vulnerabilidad de la comunidad.
	Ofrecer mapas de amenazas en SIG en línea a residentes y profesionales del diseño.
	Instruir a los usuarios de los mapas sobre los usos adecuados y las limitaciones de los mapas.
Gestionar el desarrollo en las zonas vulnerables a la amenaza por tsunami.	Cartografiar de forma más precisa las zonas problemáticas para instruir a los residentes sobre riesgos no anticipados.
	Adoptar y hacer cumplir códigos de construcción y normas de diseño que contengan requisitos de diseño resistente a tsunamis.
	Limitar nuevos desarrollos en zonas de altura máxima de penetración de tsunamis.
Protección contra incendios posteriores a tsunamis	Incentivar que los nuevos desarrollos se configuren para minimizar pérdidas por tsunami implementando estrategias de planificación de lugares de emplazamiento que ralentizan las corrientes de agua, mitigan y bloquean las fuerzas del agua.
	Incentivar medidas de mitigación de incendios en zonas propensas a tsunamis para reducir los impactos de los incendios que pueden ocurrir luego de que un tsunami golpea la línea costera.

Tabla AG.51. Estructura e infraestructura

Tipo	Opción
Construir refugios de protección contra tsunamis	Asegurar que la población esté correctamente protegida de inundación por tsunami construyendo refugios de protección.
Proteger edificios e infraestructura	Exigir que las estructuras costeras se construyan conforme a normas que permitan una evaluación adecuada y se diseñen para resistir cargas de tsunami y de terremoto.
	Situar infraestructura e instalaciones críticas nuevas y reubicar las existentes fuera de la zona bajo amenaza por tsunami.
	Elevar edificios existentes por encima de la cota de inundación.
	Reubicar la infraestructura susceptible a incendios, como líneas eléctricas.

Tabla AG.52. Programas de educación y concientización

Tipo	Opción
Concientización	Concientizar al público sobre la amenaza por tsunami.

AG.8.2. Opciones de mitigación de la amenaza por tsunami para el servicio de suministro de agua

Tabla AG.53. Servicio de suministro de agua - planta de tratamiento

Tipo	Opción
Preservar las estructuras contra inundación	Instalar barreras físicas para proteger la instalación completa contra inundaciones (muros de protección contra inundación, diques) o tener la capacidad de implementar sistemas temporarios que logren la protección requerida.
	Instalar infraestructura verde dentro o fuera de los límites de la planta de tratamiento para atenuar, desviar o retener aguas de inundación y mareas de tormenta.
	Instalar sistemas de bombeo de agua de inundación y/o sistemas de canales/alcantarillas para recoger y desviar el agua de inundación fuera de los procesos de tratamiento.
Proteger componentes críticos si la planta de tratamiento se inunda	Desarrollar capacidad para remover y almacenar con seguridad componentes vulnerables antes de que ocurra una inundación cuando existe una alerta con suficiente antelación.
	Instalar equipos resistentes al agua salada y tanques de almacenamiento (químicos y combustible).
	Impermeabilizar componentes eléctricos (motores de bombas, equipos de monitoreo) y circuitos.
	Elevar, reubicar o cubrir activos individuales para impedir que se dañe con el agua de inundación, ampliar verticalmente las paredes de una estructura de tratamiento (pileta, tanque, filtro) por encima de la altura hidrométrica crítica y/o impermeabilizar/sellar estructuras para impedir que ingrese agua de inundaciones al tren de tratamiento.
Mantener el suministro de agua potable segura durante la inundación	Reemplazar equipos motorizados y eléctricos con equipos sumergibles (bombas sumergibles).
	Monitorear la calidad del agua sin tratar que ingresa a la planta de tratamiento y estar preparado para ajustar el proceso de tratamiento según sea necesario (agregar químicos, tiempo de residencia) para compensar la mayor carga de contaminantes o una mayor turbidez.
	Comprar equipos de prueba manuales portátiles para mantener como equipos de reserva en caso de que los equipos montados de forma permanente queden fuera de servicio durante una inundación.
	Desarrollar directrices o modelos de procesos para entender posibles cambios en la calidad del agua, ajustes que puedan requerirse para cumplir con los estándares de agua potable y posibles costos de las modificaciones en el tratamiento.
Mantener el funcionamiento de la planta de tratamiento si la red de suministro eléctrico queda fuera de servicio	Explorar conexiones u otras oportunidades de alianzas para compartir recursos o facilitar servicios públicos de suministro de agua ante emergencias con servicios de suministro de agua situados en los alrededores.
	Instalar equipos energéticamente eficientes para aumentar la longevidad del suministro de combustible para generadores de reserva.
	Reemplazar equipos motorizados por equipos equivalentes que funcionen a diésel o con opción dual.

Tipo	Opción
Aumentar la capacidad de almacenamiento como preparación a una inundación	Considerar llenar los tanques de almacenamiento de agua tratada hasta su total capacidad antes de un evento de tormenta para maximizar el almacenamiento si el servicio es interrumpido o si se daña.
	Instalar tanques de almacenamiento de químicos de gran capacidad para asegurar un suministro suficiente durante y después de la emergencia hasta que la cadena de suministro se restituya.
	Determinar si sería beneficioso aumentar la capacidad de almacenamiento de emergencia de agua tratada (por contraposición a las preocupaciones acerca de la calidad/el vencimiento del agua).

Tabla AG.54. Suministro de agua - tuberías

Tipo	Opción
Preservar las estructuras contra inundación	Reubicar o elevar el recinto de bombas y los accesorios del sistema de distribución situados en zona inundable.
Proteger componentes críticos si la planta de tratamiento se inunda	Proteger o reforzar estructuras de toma de agua superficiales contra los escombros flotantes, la erosión y el colmataje para impedir daños u obstrucciones durante inundaciones. Instalar espigón o rompeolas para desviar escombros/limo fuera de la zona donde se ubica la estructura. Instalar/mejorar filtro en la toma para impedir obstrucciones por escombros.
	Impermeabilizar, reubicar o reforzar los accesorios del sistema de distribución (hidrantes contra incendios, cajas de válvulas) que son susceptibles a inundación o a sufrir daños a causa de escombros.
	Instalar bombas sumergibles o motores de bombas a prueba de agua.
	Asegurar que las tuberías de distribución que cruzan los cauces están lo suficientemente enterradas debajo del lecho.
Mantener el suministro de agua potable segura durante la inundación	Contar con un plan de acceso alternativo en caso de que el acceso normal a la estructura de tomas y/o a la sala de bombas esté bloqueado. Consultar a otras entidades (Departamento de Transporte) sobre opciones alternativas de rutas/transporte (embarcación).
	Implementar un plan para llenar los tanques de almacenamiento de agua tratada al tope de su capacidad antes de un evento de tormenta.
	Mantener stock de partes de repuesto para reparar equipos dañados.
	Explorar conexiones u otras oportunidades de alianzas para compartir recursos o facilitar servicios públicos de suministro de agua ante emergencias con servicios de suministro de agua situados en los alrededores.

Tabla AG.55. Suministro de agua - pozos

Tipo	Opción
Proteger componentes críticos si la toma de aguas subterráneas y el sistema de suministro se inundan.	Proteger o reforzar estructuras de toma de agua superficiales contra los escombros flotantes, la erosión y el colmataje para impedir daños u obstrucciones durante inundaciones.
	Sellar la parte superior de la cañería de revestimiento de pozos, impermeabilizar las tapas de pozos situadas en la zona de inundación y extender los respiraderos por encima del nivel de la zona de inundación.
	Evaluar con periodicidad la integridad de los cierres superficiales fuera de las cañerías de revestimiento y verificar que no se haya producido sedimentación o que no se hayan formado cavidades alrededor de del exterior de las cañerías de revestimiento de los pozos, por donde el agua superficial podría fluir y llegar hasta el acuífero.
	Instalar bombas sumergibles o motores de bombas a prueba de agua y otros equipos.
Mantener el suministro de agua potable segura durante la inundación	Planificar llenar los tanques de almacenamiento de agua tratada al tope de su capacidad antes de un evento de tormenta.
	Contar con un plan de acceso alternativo en caso de que el acceso normal a la boca de pozo y/o a la sala de bombas esté bloqueado. Consultar a otras entidades (Departamento de Transporte) sobre opciones alternativas de rutas/transporte (embarcación).

AG.8.3. Opciones de mitigación de la amenaza por tsunami para el servicio de gestión de aguas residuales

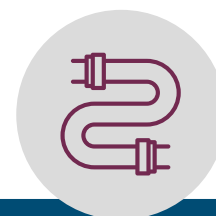


Tabla AG.56. Gestión de aguas residuales - plantas de tratamiento

Tipo	Opción
Evitar que la planta de tratamiento se inunde	Instalar barreras físicas para proteger la instalación completa contra inundaciones (muros de protección contra inundación, diques, puertas selladas) o tener la capacidad de implementar sistemas temporarios que logren la protección requerida.
	Instalar infraestructura verde dentro o fuera de los límites de la planta de tratamiento para atenuar, desviar o retener aguas de inundación y mareas de tormenta.
	Instalar sistemas de bombeo de agua de inundación y/o sistemas de canales/alcantarillas para recoger y desviar el agua de inundación.
	Corregir problemas de infiltración e influjo para reducir los flujos hacia la planta de tratamiento durante una inundación.
	Separar las cloacas unitarias para reducir los flujos hacia la planta de tratamiento durante una inundación.
Proteger componentes críticos si la planta de tratamiento se inunda	Construir un tanque de almacenamiento grande para almacenar desbordamientos para su futuro tratamiento (por ej., un túnel de gran capacidad para desbordamientos de aguas residuales negras y pluviales).
	Asegurar tanques de aire para impedir que floten si se inundan.
	Durante las tareas de mejora o de diseño de equipos nuevos, desarrollar capacidad para remover y almacenar con seguridad componentes vulnerables antes de que ocurra una inundación cuando existe una alerta con suficiente antelación.
	Instalar equipos y tanques de almacenamiento resistentes al agua salada (por ej., para químicos y combustible) si la planta está situada cerca de la línea de la costa/agua salobre.
	Impermeabilizar componentes eléctricos (por ej., motores de bombas) y circuitos.
	Elevar, reubicar o cubrir activos individuales (por ej., ventiladores, tanques de químicos/combustibles/aire, instrumental/controles) para impedir que se dañe con el agua de inundación, ampliar verticalmente las paredes de una estructura de tratamiento (por ej., clarificador, pileta, tanque) por encima de la altura hidrométrica crítica y/o impermeabilizar/sellar estructuras para impedir que ingrese agua de inundaciones al tren de tratamiento.
	Reemplazar equipos motorizados y eléctricos con equipos sumergibles (por ej., bombas sumergibles).
Mantener el funcionamiento de la planta de tratamiento si la red de suministro eléctrico queda fuera de servicio y/o si las rutas de acceso quedan bloqueadas.	Contar con un plan de acceso alternativo en caso de que el acceso normal a la planta de tratamiento esté bloqueado. Consultar a otras entidades (Departamento de Transporte) sobre opciones alternativas de rutas/transporte (embarcación).
	Instalar tanques de almacenamiento de químicos y de combustible de mayor capacidad para asegurar un suministro suficiente durante y después de la emergencia hasta que la cadena de suministro se restituya.
	Instalar equipos energéticamente eficientes para aumentar la longevidad del suministro de combustible para generadores de reserva.
	Reemplazar equipos motorizados por equipos equivalentes que funcionen a diesel o con opción dual.
	Considerar opciones para adquirir generadores de reserva o una fuente de suministro de energía alternativa.

Tipo	Opción
Tener una forma de derivar las operaciones normales de la planta de tratamiento cuando sea necesario.	Instalar una conexión extrema al sistema de aire comprimido de la instalación para permitir el uso temporario de un compresor de aire portátil si el principal compresor de aire queda fuera de servicio.
	Adquirir bombas portátiles o mantener una lista de contactos de múltiples proveedores que pueden suministrar servicios de bombeo de emergencia en caso de que parte del tren de tratamiento quede fuera de funcionamiento.
	Implementar un proyecto de regionalización para permitir el desvío de las aguas residuales a un sistema alternativo de servicio de recolección y tratamiento de dichas aguas.

Tabla AG.57. Gestión de aguas residuales - tuberías

Tipo	Opción
Preservar las estructuras contra inundación	Reubicar o elevar el recinto de bombas y los accesorios del sistema de distribución situados en zona inundable.
Proteger componentes críticos si la planta de tratamiento se inunda	Proteger o reforzar estructuras de toma de agua superficiales contra los escombros flotantes, la erosión y el colmataje para impedir daños u obstrucciones durante inundaciones. Instalar espigón o rompeolas para desviar escombros/limo fuera de la zona donde se ubica la estructura. Instalar/mejorar filtro en la toma para impedir obstrucciones por escombros.
	Impermeabilizar, reubicar o reforzar los accesorios del sistema de distribución (hidrantes contra incendios, cajas de válvulas) que son susceptibles a inundación o a sufrir daños a causa de escombros.
	Instalar bombas sumergibles o motores de bombas a prueba de agua.
	Asegurar que las tuberías de distribución que cruzan los cauces están lo suficientemente enterradas debajo del lecho.
Mantener el suministro de agua potable segura durante la inundación	Contar con un plan de acceso alternativo en caso de que el acceso normal a la estructura de tomas y/o a la sala de bombas esté bloqueado. Consultar a otras entidades (Departamento de Transporte) sobre opciones alternativas de rutas/transporte (embarcación).
	Implementar un plan para llenar los tanques de almacenamiento de agua tratada al tope de su capacidad antes de un evento de tormenta.
	Mantener stock de partes de repuesto para reparar equipos dañados.
	Explorar conexiones u otras oportunidades de alianzas para compartir recursos o facilitar servicios públicos de suministro de agua ante emergencias con servicios de suministro de agua situados en los alrededores.

Tabla AG.58. Gestión de aguas residuales - estaciones de bombeo

Tipo	Opción
Impedir que las estaciones de bombeo se inunden	Adquirir barreras temporarias de protección contra inundaciones (bolsas de arena) para utilizar en pequeñas inundaciones.
	Extender las tuberías de ventilación por encima del nivel de inundación anticipado para evitar que el agua de inundación ingrese a la estación de bombeo.
	Instalar compuertas y dispositivos de prevención de retorno en los tubos de agua afluente y de desborde de emergencia para evitar que el sistema de recolección y el agua de desborde inunden la estación de bombeo.
	Instalar barreras físicas permanentes (muros de encauzamiento, diques, puertas selladas).
	Instalar infraestructura verde para atenuar inundaciones y mareas de tormenta o desviarlas de las estaciones de bombeo.

Tipo	Opción
Proteger componentes críticos si la estación de bombeo se inunda	Instalar uniones en el sistema de conductos para reducir el tiempo necesario para reparar las secciones dañadas.
	Durante las tareas de mejora o de diseño de equipos nuevos, desarrollar capacidad para remover y almacenar con seguridad componentes vulnerables antes de que ocurra una inundación cuando existe una alerta con suficiente antelación.
	Impermeabilizar componentes críticos, controles y circuitos.
	Reubicar o elevar los componentes eléctricos (motores, mecanismos de control, centros de control de motores, sistemas de protección catódica, extractores de aire, etc.) por encima del nivel de inundación.
	Reemplazar componentes vulnerables por una opción sumergible (bombas, medidores de caudal, operadores de compuertas/válvulas, etc.).
	Reemplazar la estación de bombeo subterránea por una sobre el nivel del suelo elevada por encima del nivel de inundación.
Mantener el funcionamiento de la estación de bombeo cuando la red de suministro eléctrico esté fuera de servicio	Considerar opciones para adquirir generadores (permanentes o portátiles), aumentar la capacidad de almacenamiento de combustible o instalar un suministro de energía alternativo. Los generadores deben elevarse por encima del nivel de inundación, tener controles automatizados y estar correctamente dimensionados. El almacenamiento de combustible en el lugar también debe estar elevado y fijado para impedir que flote.
	Instalar equipos energéticamente eficientes para aumentar la longevidad del suministro de combustible para generadores de reserva.
	Reemplazar bombas por equipos equivalentes que funcionen a diésel o con opción dual.
Tener una forma de derivar las operaciones normales de la estación de bombeo cuando sea necesario.	Mantener una lista de contactos de múltiples proveedores capaces de suministrar servicios de bombeo de emergencia o celebrar acuerdos con proveedores a tal fin.
	Adquirir bombas portátiles para restablecer el funcionamiento de una estación de bombeo dañada luego de un evento de inundación.
	Implementar un proyecto de regionalización para permitir el desvío de las aguas residuales a un sistema alternativo de servicio de recolección y transporte de dichas aguas.

AG.8.4. Opciones de mitigación de la amenaza por tsunami para infraestructura crítica



Tabla AG.59. Infraestructura crítica

Tipo	Opción
Proteger edificios e infraestructura	Exigir que las estructuras costeras se construyan conforme a normas que permitan una evaluación adecuada y se diseñen para resistir cargas de tsunami.
	Situar infraestructura e instalaciones críticas nuevas y reubicar las existentes fuera de la zona bajo amenaza por tsunami.
	Elevar edificios existentes por encima de la cota de inundación.
	Reubicar la infraestructura susceptible a incendios, como líneas eléctricas.

Tipo	Opción
Protección de servicios públicos y equipos esenciales	<p>Cuando no resulte práctico elevar equipos, la protección contra inundación en seco puede ser una opción; requiere la construcción de barreras contra inundación o cobertizos alrededor de equipos individuales o zonas que contienen equipos esenciales para evitar que las aguas de inundación entren en contacto con dichos equipos.</p>
	<p>Protección en seco contra el agua de inundación: debe cumplir con los criterios de ASCE 24 en todos los lugares. Los requisitos incluyen instalación de cualquier tipo de barrera.</p>
	<p>Protección en seco contra las fuerzas de la inundación: debe diseñarse para resistir las fuerzas hidrostáticas que existirán cuando ingrese el agua de inundación y ser capaz de resistir las presiones y las fuerzas de subpresión.</p>
	<p>Protección en seco contra pérdidas e infiltración: pocas medidas de protección en seco contra inundación permiten una estanqueidad completa, por lo que debe preverse ciertas pérdidas/infiltración. Debido a que incluso pequeñas cantidades de pérdidas/filtraciones causarán eventualmente la inundación de las áreas protegidas, es obligatorio tomar recaudos para poder bombear agua fuera de las zonas protegidas contra inundaciones en seco.</p>
Consideraciones de diseño para proteger sistemas y equipos esenciales	<p>Debe dotarse de energía de emergencia a todos los equipos de bombeo que atiendan áreas protegidas contra inundaciones en seco. Para ser eficaces, todo el sistema de electricidad de emergencia, incluido el suministro de combustible, debe estar protegido de la inundación.</p>
	<p>Servicio eléctrico y sistemas de distribución: deben estar situados por encima de las cotas de inundación o protegidos contra inundaciones en seco. Los elementos esenciales incluyen las líneas primarias de suministro de la compañía de servicios públicos y los transformadores asociados, los equipos principales de servicio eléctrico de la instalación, los alimentadores corriente abajo y los paneles de distribución.</p>
	<p>Sistemas de datos: los principales servidores, interruptores y nodos de red para sistemas de telefonía, datos y comunicación deben instalarse por encima de las cotas de inundación para permanecer funcionales.</p>
	<p>Calefacción, ventilación y aire acondicionado: los componentes esenciales como calderas, enfriadores, torres de enfriamiento, bombas para circular agua caliente y agua fría y los controles asociados del sistema deben estar situados por encima de las cotas de inundación.</p>
	<p>Sistemas de agua/aguas residuales: los calentadores de agua domésticos, las bombas domésticas presurizadoras de agua y las bombas de circulación de agua caliente y los controles del sistema deben estar situados por encima de las cotas de inundación. Si ciertas bombas (colectoras, elevadoras) que descargan efluentes deben instalarse en zonas vulnerables, los componentes deben ser sumergibles.</p>
	<p>Tanques de combustible y sistemas de bombeo de combustible: cuando sea posible, todas las partes del sistema de despacho de combustible deben situarse por encima de las cotas de inundación. Si los componentes del sistema de combustible (como los principales tanques de almacenamiento de combustible y bombas) deben permanecer en zonas vulnerables a la inundación, los componentes deben diseñarse para uso sumergible. Los tanques de combustible deben diseñarse para soportar las fuerzas externas del peso del agua por encima y alrededor del tanque, estar anclados para evitar daños por flotación y diseñados para que las ventilaciones del tanque de combustible se extiendan por encima de las cotas de inundación previstas.</p>
	<p>Elevadores: incluso si no son parte de las rutas de egreso requeridas por el código, es beneficioso elevar los componentes por encima de la cota de inundación o utilizar materiales resistentes a la inundación en componentes que deben situarse en zonas expuestas a las aguas de inundación. Mediante la incorporación de controles que impidan que las cabinas de los elevadores descendan hasta las aguas de inundación, es posible reducir el daño y la pérdida de funcionamiento a largo plazo.</p>
	<p>Evaluación de vulnerabilidad: para ayudar a los operadores de la instalación a planificar con anticipación a eventos de inundación, se puede realizar una evaluación de vulnerabilidad para identificar equipos y sistemas vulnerables a la inundación. Las evaluaciones suelen ser realizadas por un equipo de arquitectos e ingenieros que trabajan en conjunto con los administradores de las instalaciones, operadores y personal de mantenimiento.</p>

AG.8.5. Opciones de mitigación de la amenaza por tsunami para el transporte



Tabla AG.60. Transporte - vías

Tipo	Opción
Erosión de cunetas	Aumentar la capacidad de las cunetas: aumentar la capacidad de las cunetas de las vías aumentando su profundidad y/o ancho.
	Instalar recubrimiento en la cuneta: recubrir con roca, hormigón, asfalto o vegetación para impedir su erosión. Materiales más grandes y de granulación más gruesa utilizados para protección contra flujos de alta velocidad.
	Instalar alcantarillas transversales adicionales: para cortar el flujo y no superar la capacidad de la cuneta de la vía. Las alcantarillas transversales suelen ser de tamaño mediano, de 18 a 24 pulgadas de diámetro.
	Instalar presas de control: instalar barreras de baja altura (presas de control), en general hechas de roca suelta, para disminuir la velocidad de la tormenta y reducir la acción de socavación.
Erosión de terraplenes	Dotar de protección de bioingeniería los taludes de terraplenes cubriendo el talud con vegetación de raíz profunda y, en los sectores adyacentes en contacto con un curso de agua, anclar estratégicamente detritos de madera que fijen el suelo y lo protejan de la erosión.
	Instalar tubos de media caña o canales aliviaderos o canales de roca: concentrar los flujos en una estructura de recolección e instalar tubos de media caña o canales aliviaderos o de roca en pendientes pronunciadas.
	Cambiar la geometría de la superficie de la vía: alterar el ángulo del talud del terraplén mediante redondeo de banquetas y reducción de pendientes para reducir la erosión.
	Construir un muro: para proteger el talud de la erosión, el desmoronamiento y el desgaste. Puede construirse de diversos materiales, incluida roca, gaviones, tablestacas, hormigón, etc.
	Revestir de piedra el talud erosionado: revestimiento de piedra correctamente dimensionado a lo largo del talud del terraplén erosionado para resistir los efectos de socavación de los flujos de mayor velocidad.
Erosión de superficie y banquina	Aumentar la elevación de la vía agregando material de relleno adecuado para elevar la superficie de la vía por encima de la cota de inundación de diseño.
	Construir protección contra erosión en la banquina, pavimentar banquina corriente abajo con pavimento de hormigón de asfalto, hormigón, ripio u otros revestimientos de protección adecuados.
	Incorporar alcantarillado con múltiples tubos: pueden instalarse con una alcantarilla existente en un lugar de cruce único, a la misma altura o bien a alturas diferentes. Las alcantarillas deben situarse a diferentes alturas en el terraplén y deben estar separadas por una distancia mayor a un décimo del diámetro de las alcantarillas individuales para minimizar la acumulación de sedimentos.
	Reemplazar con alcantarilla de tubo de mayor porte: permite el paso de un mayor volumen de agua.
Daño o falla de alcantarillas producto de rebasamiento y/o erosión de terraplenes por capacidad insuficiente	Aumentar la eficiencia de la entrada y/o de la salida: para aumentar la eficiencia puede recurrirse al redondeo de la entrada, anillos de bisel en la entrada, muros laterales, terminales en cola de pez, pavimentar el fondo de la entrada de la alcantarilla y/o paredes posteriores en forma de "U".
	Modificar el trazado de la alcantarilla: modificar el trazado horizontal/vertical para que coincida con la línea central y la pendiente del curso de agua.
	Reemplazar por alcantarilla de cajón o alcantarilla arqueada: la alcantarilla de cajón o la arqueada ofrece mayor capacidad en situaciones de bajo flujo.
	Reemplazar alcantarilla por puente.
	Reemplazar alcantarilla por (o agregar) un cruce de aguas bajas: depresión en la vía capaz de alojar los flujos anticipados o agregar una depresión en la vía sobre una alcantarilla.
	Instalar cruce en desborde de aguas altas: las secciones de desborde en la vía alojarán flujos procedentes de zonas de la llanura de inundación del curso de agua. Proporciona vertedero de emergencia. Los cruces de desborde de aguas altas deben situarse en los canales laterales naturales.

Tabla AG.61. Transporte - puentes

Tipo	Opción
Socavación (pilas y estribos)	Aumentar la profundidad de las fundaciones: aumentar la profundidad de las fundaciones de pilas y estribos por debajo de la profundidad prevista de la socavación del lecho del curso de agua o hasta el lecho de roca.
	Instalar deflectores de flujo: deflectores de flujo en forma de “V” en secciones corriente arriba de pilas/estribos, o inmediatamente corriente arriba de éstos. Instalar anillo de hormigón en las secciones inferiores de pilas inmediatamente por encima de la fundación. Extender las secciones inferiores de estribos y paredes laterales. Todos diseñados para desviar los flujos de inundación lejos de las pilas y los estribos y eliminar la socavación del lecho del curso de agua a lo largo y debajo de pilas y estribos.
	Instalar narices terminales semicirculares o triangulares en los extremos corriente arriba de las pilas para redireccionar las velocidades del flujo de inundación. Las narices terminales de pilas son una medida de protección, como las láminas metálicas adosadas a las pilas. También deben diseñarse para impedir la acumulación de escombros y proteger las pilas/los estribos del impacto de escombros.
Impacto de escombros (pilas y estribos)	Instalar deflectores de escombros: deben instalarse deflectores/aletas en los extremos corriente arriba de las pilas/los estribos y en un ángulo que dirija los escombros hacia zonas de altas velocidades de flujo. Deben tener forma de “V” y extenderse corriente arriba una distancia suficiente para orientar los escombros para que pasen fácilmente a través del puente.
	Instalar taludes: taludes (placas de acero) en los extremos corriente arriba de pilas de hormigón con narices terminales en forma de “V” o en los extremos de muros laterales y encuentros entre muro lateral/estribo para protegerlos de impactos.
	Reemplazar pilas de madera por pilas de hormigón: reemplazar pila con pilotes de madera por pila de hormigón sólido. Impide que los escombros se acumulen en la pila y protege de los impactos.
	Construir recolectores de escombros: como barreras para escombros (rejas de retención de cuerpos extraños) o represas de baja altura en pequeños tributarios corriente arriba. Deben diseñarse para atrapar los escombros y permitir el paso del flujo de agua. Si se construyen, deben incluir un aliviadero de emergencia.

AG.9. Opciones de mitigación de la amenaza por volcán

AG.9.1. Opciones de mitigación de la amenaza por volcán para el servicio de suministro de agua

Tabla AG.62. Servicio de suministro de agua - planta de tratamiento

Tipo	Opción
Prevención y tratamiento	Confinar equipos o químicos en edificio o cerramiento resistente al fuego o al calor.
	Instalar equipos o almacenar químicos bajo tierra: los medidores y otros equipos pueden instalarse bajo tierra junto con el sistema de distribución.
	Tratar con retardador de fuego o utilizar material resistente al fuego los equipos, como torres o tanques, que no pueden situarse bajo tierra o en cerramiento resistente al fuego.
	Proteger componentes eléctricos con recubrimiento resistente al fuego: componentes y conductos expuestos en postes con conductos metálicos y otros materiales resistentes al fuego.
	Instalar interruptores de transferencia para mitigar fallas eléctricas en equipos críticos como bombas y para uso del generador de reserva.
	Tratar vallas y muros con capa de retardante de fuego.

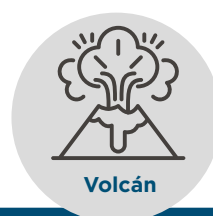


Tabla AG.63. Suministro de agua - tuberías

Tipo	Opción
Prevención y tratamiento	Instalar equipos o almacenar químicos bajo tierra: los medidores y otros equipos pueden instalarse bajo tierra junto con el sistema de distribución.

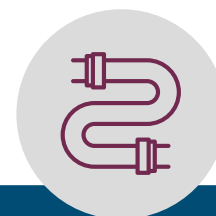
Tabla AG.64. Suministro de agua - pozos

Tipo	Opción
Prevención y tratamiento	Utilizar materiales no combustibles: reemplazar materiales combustibles por no combustibles como acero, hormigón, mampostería, etc.
	Tratar vallas y muros con capa de retardante de fuego.

AG.9.2. Opciones de mitigación de la amenaza por volcán para el servicio de gestión de aguas residuales

Tabla AG.65. Gestión de aguas residuales - plantas de tratamiento

Tipo	Opción
Prevención y tratamiento	Confinar equipos o químicos en edificio o cerramiento resistente al fuego o al calor.
	Instalar equipos o almacenar químicos bajo tierra: los medidores y otros equipos pueden instalarse bajo tierra junto con el sistema de distribución.
	Tratar con retardador de fuego o utilizar material resistente al fuego los equipos, como torres o tanques, que no pueden situarse bajo tierra o en cerramiento resistente al fuego.
	Proteger componentes eléctricos con recubrimiento resistente al fuego: componentes y conductos expuestos en postes con conductos metálicos y otros materiales resistentes al fuego.
	Instalar interruptores de transferencia para mitigar fallas eléctricas en equipos críticos como bombas y para uso del generador de reserva.
	Tratar vallas y muros con capa de retardante de fuego.

**Tabla AG.66.** Gestión de aguas residuales - tuberías

Tipo	Opción
Prevención y tratamiento	Instalar equipos o almacenar químicos bajo tierra: los medidores y otros equipos pueden instalarse bajo tierra junto con el sistema de distribución.

Tabla AG.67. Gestión de aguas residuales - estaciones de bombeo

Tipo	Opción
Prevención y tratamiento	Utilizar materiales no combustibles: reemplazar materiales combustibles por no combustibles como acero, hormigón, mampostería, etc.
	Tratar vallas y muros con capa de retardante de fuego.

AG.9.3. Opciones de mitigación de la amenaza por volcán para infraestructura crítica



Tabla AG.68. Infraestructura crítica

Tipo	Opción
Revestimientos de techo combustibles	Instalar revestimientos de techo adecuados: instalar revestimientos de techo no inflamables para lograr una estructura de techo calificada como Clase A.
	Instalar vierteaguas en limahoyas e intersecciones: con ventilaciones, muros, chimeneas y capa base resistente al fuego debajo de los vierteaguas.
Entablonado de techo	Instalar entablonado adecuado: utilizar material no inflamable como acero, hormigón, etc. o madera tratada con retardante para lograr una estructura de techo Clase A.
	Instalar capa base: capa base resistente al fuego para evitar que la exposición al fuego llegue a la cubierta del techo.
Bordes de techos	Instalar canaletas no combustibles: por ejemplo, de aluminio, acero galvanizado o cobre. Cubrir canaletas con protección para evitar la acumulación de hojas y detritos.
	Instalar placas ignífugas para impedir el anidamiento de aves en los bordes de los aleros.
Aleros y voladizos	Reducir o eliminar voladizos: utilizar materiales resistentes al fuego para cerrar voladizos expuestos.
	Construir estructuras de aleros de manera tal de reducir su vulnerabilidad a daños por incendio: los aleros cerrados o de caja reducen la retención de gases calientes y chispas. Evitar que ingresen gases calientes o cenizas al ático mediante la instalación de ventilaciones o mallas en tablas de frontis.
Revestimiento de muros exteriores	Instalar revestimientos resistentes al fuego o ignífugos.
	Instalar revestimiento de tablas con juntas menos penetrables: instalar revestimientos de tablas resistentes al fuego o ignífugos con juntas de rebajo, traslapo o ranura y lengüeta.
	Instalar paneles de yeso tipo X entre montantes y revestimiento, que cumplan con ASTM C 1177.
Penetraciones de muros	Eliminar huecos debidos a la penetración de la pared exterior: sellar huecos alrededor de penetraciones de muros o, si es posible, eliminar las penetraciones de muro por encima del nivel del piso, reubicar el ingreso de cables o tubos de servicios debajo del suelo y sellar huecos en muros.
Aberturas de ventilación	Instalar mallas no inflamables resistentes a la corrosión con pequeñas aberturas: con aberturas de 1/4' como máximo. Cada abertura no debe superar 144 pulgadas cuadradas.
	Instalar rejillas de ventilación no inflamables con aletas ajustables capaces de sellar la abertura de la ventilación durante incendios.
Puertas y marcos exteriores	Instalar estructuras de puertas resistentes al fuego que cumplan con el UL Standard 10C. El marco de la puerta debe cumplir con la clasificación de resistencia al fuego para puertas exteriores.
Puertas	Instalar puertas y marcos aislados no inflamables de aluminio, acero u otro material.

Tipo	Opción
Rampas, plataformas de madera y otras estructuras exteriores adosadas	Ubicación y retiros adecuados: evitar construir cerca de zonas con abundante vegetación y características topográficas como quebradas, cañones, hondonadas, cumbres y pasos de montaña. Dejar retiro de 50 pies.
	Utilizar material resistente al fuego o no inflamable en rampas, plataformas de madera y otras estructuras exteriores adosadas.
	Instalar chapas o mallas en la intersección con el edificio: proteger hueco donde la rampa, la plataforma, etc., se une con el edificio mediante chapas de metal.
	Cerrar cara inferior de la estructura con mallas: en estructuras elevadas de menos de 6 pulgadas sobre rasante, cerrar abertura con malla de entramado de 1/2 pulgada o menor.
	Cerrar cara inferior de estructura con zócalo de material aprobado con calificación de resistencia al fuego de 1 hora.
Ventanas y marcos	Construir patio no inflamable alrededor del perímetro, de piedra, hormigón o mampostería alrededor del perímetro de las estructuras.
	Instalar paneles de ventanas de vidrio resistente al fuego con 2 o 3 paneles de vidrio separado por una cámara de aire sellada.
	Instalar marcos resistentes al fuego de materiales como acero, aluminio o madera con revestimiento de aluminio.
	Instalar persianas resistentes al fuego permanentes o temporarias.
Claraboyas y marcos	Instalar mallas metálicas resistentes al fuego sobre ventanas.
	Instalar claraboyas y marcos resistentes al fuego. Considerar además utilizar vidrio reforzado con cables de alambre en claraboyas e instalar chapa de metal adecuada alrededor del marco si está adosado al techo del edificio.
Cimientos cerrados	Cerrar espacio entre el terreno natural y el primer piso del edificio con pared.
Cimientos abiertos	Proteger la cara inferior de la estructura del piso con paneles resistentes al fuego de yeso tipo X de 5/8 pulgadas.
	Instalar zócalo resistente al fuego para impedir el ingreso de elementos debajo del edificio.
Contenido del edificio	Instalar sistema automático de rociadores. Además, instalar rociadores en espacios cerrados como áticos.
Equipos exteriores del edificio	Instalar cerramientos para equipos montados en el exterior contruidos de material resistente al fuego o no inflamable.
Equipos electrónicos	Instalar protección contra picos de tensión en equipos sensibles.
	Instalar fuentes de energía de reserva, como Suministro Eléctrico No Interrumpible (Uninterruptible Power Supply o UPS, por sus siglas en inglés).
Vallados y muros	Tratar vallas y muros con capa de retardante de fuego.

AG.9.4. Opciones de mitigación de la amenaza por volcán para el transporte

Tabla AG.69. Transporte - vías

Tipo	Opción
Guardarraíles	Utilizar materiales no inflamables en guardarraíles para evitar daños en postes y mantener en uso efectivo materiales como postes de acero, cables de alta tensión, etc.
Sistemas de tráfico y de alumbrado	Reemplazar postes y señales de madera por materiales no inflamables como acero, hormigón o postes recubiertos con PVC retardante de fuego.
	Reemplazar alambre suspendido por material no inflamable: las señales de tráfico que llevan alambre suspendido son propensas a dañarse durante los incendios.
Estructuras de control de erosión	Utilizar materiales no inflamables: reconstruir estructuras de retención inflamables con materiales no inflamables, como acero, hormigón o mampostería.



Tabla AG.70. Transporte - puentes

Tipo	Opción
Superestructura	Utilizar material no inflamable como acero u hormigón.
	Tratar la superestructura con capa retardante de fuego: cuando no es posible reemplazar los elementos de madera, tratarlos con retardantes de fuego como ignifugación cementicia o intumescente.
	Instalar guardarraíles o barreras no inflamables, como acero u hormigón.
Subestructura	Utilizar material no inflamable como acero u hormigón.
	Tratar la superestructura con capa retardante de fuego: cuando no es posible reemplazar los elementos de madera, tratarlos con retardantes de fuego como ignifugación cementicia o intumescente.

Tabla AG.71. Estructura e infraestructura

Tipo	Opción
Reforzar los sistemas de suministro de agua	Diseñar sistemas de abastecimiento de agua que resistan eventos de sequía.
	Desarrollar sistema de abastecimiento de agua nuevo, o mejorar el existente, para eliminar roturas y pérdidas.

Tabla AG.72. Protección de sistemas naturales

Tipo	Opción
Aumentar las medidas de paisajismo y diseño	Incorporar prácticas tolerantes a la sequía o xeropaisaje en las ordenanzas sobre paisaje para reducir la dependencia del riego.
	Otorgar incentivos a la implementación de xeropaisajismo.
	Utilizar superficies permeables para reducir la escorrentía y aumentar la recarga de agua subterránea.

Tabla AG.73. Programas de educación y concientización

Tipo	Opción
Concientización	Educar a los residentes sobre técnicas de ahorro de agua.
	Educar a los productores agrícolas sobre prácticas de conservación del suelo y del agua.
	Contratar un seguro para los cultivos

AG.10. Opciones de mitigación de la amenaza por incendio**AG.10.1. Opciones generales de mitigación de la amenaza****Tabla AG.74.** Planificación

Tipo	Opción
Cartografiar y evaluar la vulnerabilidad a incendios	Realizar cartografiado por SIG de las zonas vulnerables a incendios para facilitar el análisis y las decisiones de planificación mediante comparación con zonificación, desarrollo, infraestructura, etc.
	Desarrollar y mantener una base de datos para monitorear la vulnerabilidad de la comunidad a los incendios.
	Crear un escenario de incendios para estimar posible pérdida de vidas y lesiones, daños y vulnerabilidades existentes dentro de la comunidad.
Incorporar mitigación de incendios dentro de un plan integral	Reconocer la existencia de la amenaza por incendio e identificar áreas de riesgo con base en una evaluación.
	Describir políticas y recomendaciones para abordar el riesgo de incendio y desalentar la expansión hacia la interfaz monte-urbana.
	Incluir consideraciones sobre la amenaza por incendio en plan integral de uso del suelo, seguridad pública y otros elementos.
Reducir el riesgo mediante planificación del uso del suelo	Implementar zonificación y/o distrito especial de incendios para designar áreas de alto riesgo.
	Abordar la densidad y calidad del desarrollo, como así también acceso de emergencia, parquización y suministro de agua.
	Promover la conservación de espacio abierto o zonas de frontera entre monte-área urbana para separar las zonas urbanas de las de amenaza elevada.
Desarrollar código para la interfaz monte-zona urbana	Establecer directrices para anexación y ampliaciones de servicios en zonas de alto riesgo.
	Desarrollar directrices de diseño especiales y procedimientos de revisión de desarrollos para nuevas construcciones, reemplazo, reubicación y mejora sustancial en zonas bajo amenaza de incendio.
	Abordar la mitigación de incendios mediante accesos, señalización, hidrantes, disponibilidad de agua, gestión de la vegetación y normativa especial para construcción de edificios.
Requerir o incentivar técnicas de construcción resistentes a incendios	Involucrar a las agencias de protección contra incendios en la determinación de directrices y normativa y en el desarrollo y en los procedimientos de revisión de planos de ubicación.
	Establecer requisitos de planificación de mitigación de incendios para desarrollos de gran escala.
	Incentivar el uso de materiales no combustibles en nuevas construcciones.
	Utilizar techos y materiales de construcción resistentes al fuego en las remodelaciones, mejoras y nuevas construcciones.
	Confinar las fundaciones de viviendas y otros edificios en zonas proclives a sufrir incendios, en lugar de dejarlas abiertas.
	Prohibir tejas de madera en nuevos desarrollos en zonas proclives a sufrir incendios.
	Incentivar el uso de persianas funcionales en ventanas.

Tabla AG.75. Estructura e infraestructura

Tipo	Opción
Reforzar estructuras en riesgo con materiales ignífugos	Instalar cubiertas de techo, entarimados de techo, tejas, claraboyas, ventilaciones de techo y ático, aleros y canteros que cumplan con la normativa de construcción ignífuga.
	Instalar componentes de muros que cumplan con normativa de construcción ignífuga.
	Proteger tanques de propano u otras fuentes de combustible externas.
	Comprar e instalar sistemas hidrantes externos específicos para la estructura, fuentes de energía dedicadas y cisternas dedicadas si no hay una fuente de agua disponible.
Crear un espacio defendible alrededor de infraestructuras y estructuras	Crear amortiguadores alrededor de estructuras mediante la remoción o reducción de vegetación inflamable, incluida remoción vertical de ramas de árboles.
	Reemplazar vegetación inflamable por especies menos inflamables.
	Crear zonas defendibles alrededor de líneas de electricidad, petróleo y gas y otros sistemas de infraestructura.
Realizar mantenimiento para reducir el riesgo	Realizar actividades de limpieza para evitar incendios intencionales en zonas de estructuras abandonadas o derrumbadas, residuos acumulados o escombros, y con antecedentes de acumulación de materiales inflamables donde pueden haber ocurrido derrames o descarga de residuos.
	Prevenir o mitigar incendios mediante un mantenimiento adecuado y separación de líneas eléctricas, como así también una respuesta eficiente ante caída de cables de electricidad.
	Inspeccionar el funcionamiento de hidrantes.
	Requerir y mantener un acceso seguro a aparatos contra incendio a vecindarios y propiedades que se sitúen en la interfaz monte-zona urbana.

Tabla AG.76. Protección de sistemas naturales

Tipo	Opción
Implementar programa de gestión de combustibles	Realizar mantenimiento para gestión de combustibles, incluida la poda, limpieza, tala selectiva, corte de pastos altos, plantación de vegetación resistente al fuego y creación de cortafuegos.
	Utilizar quema prescrita para reducir las cargas de combustible que constituyen una amenaza para la seguridad y las propiedades.
	Identificar y eliminar las cargas de combustible creadas por árboles caídos.
	Implementar cortafuegos en zonas de forestadas en la interfaz monte-zona urbana.
	Auspiciar días de “tala y limpieza” local para reducir las cargas de combustible a lo largo de la interfaz monte-zona urbana.
	Vincular la seguridad ante incendios con estrategias de protección ambiental.
	Desarrollar plan de gestión de la vegetación.

Tabla AG.77. Programas de educación y concientización

Tipo	Opción
Concientización	Mayor concientización sobre el riesgo de incendios.
	Aumentar la formación sobre técnicas de mitigación de incendios.

AG.10.2. Opciones de mitigación de la amenaza por incendio para el servicio de suministro de agua

Tabla AG.78. Servicio de suministro de agua - planta de tratamiento



Incendio



Tipo	Opción
Prevención y tratamiento	Confinar equipos o químicos en edificio o cerramiento resistente al fuego o al calor.
	Instalar equipos o almacenar químicos bajo tierra: los medidores y otros equipos pueden instalarse bajo tierra junto con el sistema de distribución.
	Tratar con retardador de fuego o utilizar material resistente al fuego los equipos, como torres o tanques, que no pueden situarse bajo tierra o en cerramiento resistente al fuego.
	Proteger componentes eléctricos con recubrimiento resistente al fuego: componentes y conductos expuestos en postes con conductos metálicos y otros materiales resistentes al fuego.
	Instalar interruptores de transferencia para mitigar fallas eléctricas en equipos críticos como bombas y para uso del generador de reserva.
	Tratar vallas y muros con capa de retardante de fuego.

Tabla AG.79. Suministro de agua - tuberías

Tipo	Opción
Instalación	Instalar equipos o almacenar químicos bajo tierra: los medidores y otros equipos pueden instalarse bajo tierra junto con el sistema de distribución.

Tabla AG.80. Suministro de agua - pozos

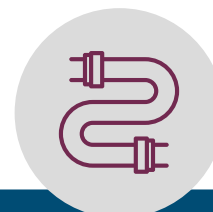
Tipo	Opción
Prevención y tratamiento	Utilizar materiales no combustibles: reemplazar materiales combustibles por no combustibles como acero, hormigón, mampostería, etc.
	Tratar vallas y muros con capa de retardante de fuego.

AG.10.3. Opciones de mitigación de la amenaza por incendio para el servicio de gestión de aguas residuales

Tabla AG.81. Gestión de aguas residuales - plantas de tratamiento



Incendio



Tipo	Opción
Prevención y tratamiento	Confinar equipos o químicos en edificio o cerramiento resistente al fuego o al calor.
	Instalar equipos o almacenar químicos bajo tierra: los medidores y otros equipos pueden instalarse bajo tierra junto con el sistema de distribución.
	Tratar con retardador de fuego o utilizar material resistente al fuego los equipos, como torres o tanques, que no pueden situarse bajo tierra o en cerramiento resistente al fuego.
	Proteger componentes eléctricos con recubrimiento resistente al fuego: componentes y conductos expuestos en postes con conductos metálicos y otros materiales resistentes al fuego.
	Instalar interruptores de transferencia para mitigar fallas eléctricas en equipos críticos como bombas y para uso del generador de reserva.
	Tratar vallas y muros con capa de retardante de fuego.

Tabla AG.82. Gestión de aguas residuales - tuberías

Tipo	Opción
Instalación	Instalar equipos o almacenar químicos bajo tierra: los medidores y otros equipos pueden instalarse bajo tierra junto con el sistema de distribución.

Tabla AG.83. Gestión de aguas residuales - estaciones de bombeo

Tipo	Opción
Prevención y tratamiento	Utilizar materiales no combustibles: reemplazar materiales combustibles por no combustibles como acero, hormigón, mampostería, etc.
	Tratar vallas y muros con capa de retardante de fuego.

AG.10.4. Opciones de mitigación de la amenaza por incendio para infraestructura crítica

**Tabla AG.84.** Infraestructura crítica

Tipo	Opción
Revestimientos de techo combustibles	Instalar revestimientos de techo adecuados: instalar revestimientos de techo no inflamables para lograr una estructura de techo calificada como Clase A.
	Instalar vierteaguas en limahoyas e intersecciones: con ventilaciones, muros, chimeneas y capa base resistente al fuego debajo de los vierteaguas.
Entablonado de techo	Instalar entablonado adecuado: utilizar material no inflamable como acero, hormigón, etc. o madera tratada con retardante para lograr una estructura de techo Clase A.
	Instalar capa base: capa base resistente al fuego para evitar que la exposición al fuego llegue a la cubierta del techo.
Bordes de techos	Instalar canaletas no combustibles: por ejemplo, de aluminio, acero galvanizado o cobre. Cubrir canaletas con protección para evitar la acumulación de hojas y detritos.
	Instalar placas ignífugas para impedir el anidamiento de aves en los bordes de los aleros.
Aleros y voladizos	Reducir o eliminar voladizos: utilizar materiales resistentes al fuego para cerrar voladizos expuestos.
	Construir estructuras de aleros de manera tal de reducir su vulnerabilidad a daños por incendio: los aleros cerrados o de caja reducen la retención de gases calientes y chispas. Evitar que ingresen gases calientes o cenizas al ático mediante la instalación de ventilaciones o mallas en tablas de frontis.
Revestimiento de muros exteriores	Instalar revestimientos resistentes al fuego o ignífugos.
	Instalar revestimiento de tablas con juntas menos penetrables: instalar revestimientos de tablas resistentes al fuego o ignífugos con juntas de rebajo, traslapo o ranura y lengüeta.
	Instalar paneles de yeso tipo X entre montantes y revestimiento, que cumplan con ASTM C 1177.
Penetraciones de muros	Eliminar huecos debidos a la penetración de la pared exterior: sellar huecos alrededor de penetraciones de muros o, si es posible, eliminar las penetraciones de muro por encima del nivel del piso, reubicar el ingreso de cables o tubos de servicios debajo del suelo y sellar huecos en muros.

Tipo	Opción
Aberturas de ventilación	Instalar mallas no inflamables resistentes a la corrosión con pequeñas aberturas: con aberturas de 1/4' como máximo. Cada abertura no debe superar 144 pulgadas cuadradas.
	Instalar rejillas de ventilación no inflamables con aletas ajustables capaces de sellar la abertura de la ventilación durante incendios.
Puertas y marcos exteriores	Instalar estructuras de puertas resistentes al fuego que cumplan con el UL Standard 10C. El marco de la puerta debe cumplir con la clasificación de resistencia al fuego para puertas exteriores.
Puertas	Instalar puertas y marcos aislados no inflamables de aluminio, acero u otro material.
Rampas, plataformas de madera y otras estructuras exteriores adosadas	Ubicación y retiros adecuados: evitar construir cerca de zonas con abundante vegetación y características topográficas como quebradas, cañones, hondonadas, cumbres y pasos de montaña. Dejar retiro de 50 pies.
	Utilizar material resistente al fuego o no inflamable en rampas, plataformas de madera y otras estructuras exteriores adosadas.
	Instalar chapas o mallas en la intersección con el edificio: proteger hueco donde la rampa, la plataforma, etc., se une con el edificio mediante chapas de metal.
	Cerrar cara inferior de la estructura con mallas: en estructuras elevadas de menos de 6 pulgadas sobre rasante, cerrar abertura con malla de entramado de 1/2 pulgada o menor.
	Cerrar cara inferior de estructura con zócalo de material aprobado con calificación de resistencia al fuego de 1 hora.
	Construir patio no inflamable alrededor del perímetro, de piedra, hormigón o mampostería alrededor del perímetro de las estructuras.
Ventanas y marcos	Instalar paneles de ventanas de vidrio resistente al fuego con 2 o 3 paneles de vidrio separado por una cámara de aire sellada.
	Instalar marcos resistentes al fuego de materiales como acero, aluminio o madera con revestimiento de aluminio.
	Instalar persianas resistentes al fuego permanentes o temporarias.
Claraboyas y marcos	Instalar mallas metálicas resistentes al fuego sobre ventanas.
	Instalar claraboyas y marcos resistentes al fuego y considerar además utilizar vidrio reforzado con cables de alambre en claraboyas e instalar chapa de metal adecuada alrededor del marco si está adosado al techo del edificio.
Cimientos cerrados	Cerrar espacio entre el terreno natural y el primer piso del edificio con pared.
Cimientos abiertos	Proteger la cara inferior de la estructura del piso con paneles resistentes al fuego de yeso tipo X de 5/8 pulgadas.
	Instalar zócalo resistente al fuego para impedir el ingreso de elementos debajo del edificio.
Contenido del edificio	Instalar sistema automático de rociadores. Además, instalar rociadores en espacios cerrados como áticos.
Equipos exteriores del edificio	Instalar cerramientos para equipos montados en el exterior contruidos de material resistente al fuego o no inflamable.
Equipos electrónicos	Instalar protección contra picos de tensión en equipos sensibles.
	Instalar fuentes de energía de reserva, como Suministro Eléctrico No Interrumpible (Uninterruptible Power Supply o UPS, por sus siglas en inglés).
Vallados y muros	Tratar vallas y muros con capa de retardante de fuego.

AG.10.5. Opciones de mitigación de la amenaza por incendio para proyectos de transporte



Tabla AG.85. Transporte - vías

Tipo	Opción
Guardarraíles	Utilizar materiales no inflamables en guardarraíles para evitar daños en postes y mantener en uso efectivo materiales como postes de acero, cables de alta tensión, etc.
Sistemas de tráfico y de alumbrado	Reemplazar postes y señales de madera por materiales no inflamables como acero, hormigón o postes recubiertos con PVC retardante de fuego.
	Reemplazar alambre suspendido por material no inflamable: las señales de tráfico que llevan alambre suspendido son propensas a dañarse durante los incendios.
Estructuras de control de erosión	Utilizar materiales no inflamables: reconstruir estructuras de retención inflamables con materiales no inflamables, como acero, hormigón o mampostería.

Tabla AG.86. Transporte - puentes

Tipo	Opción
Superestructura	Utilizar material no inflamable como acero u hormigón.
	Tratar la superestructura con capa retardante de fuego: cuando no es posible reemplazar los elementos de madera, tratarlos con retardantes de fuego como ignifugación cementicia o intumescente.
	Instalar guardarraíles o barreras no inflamables, como acero u hormigón.
Subestructura	Utilizar material no inflamable como acero u hormigón.
	Tratar la superestructura con capa retardante de fuego: cuando no es posible reemplazar los elementos de madera, tratarlos con retardantes de fuego como ignifugación cementicia o intumescente.

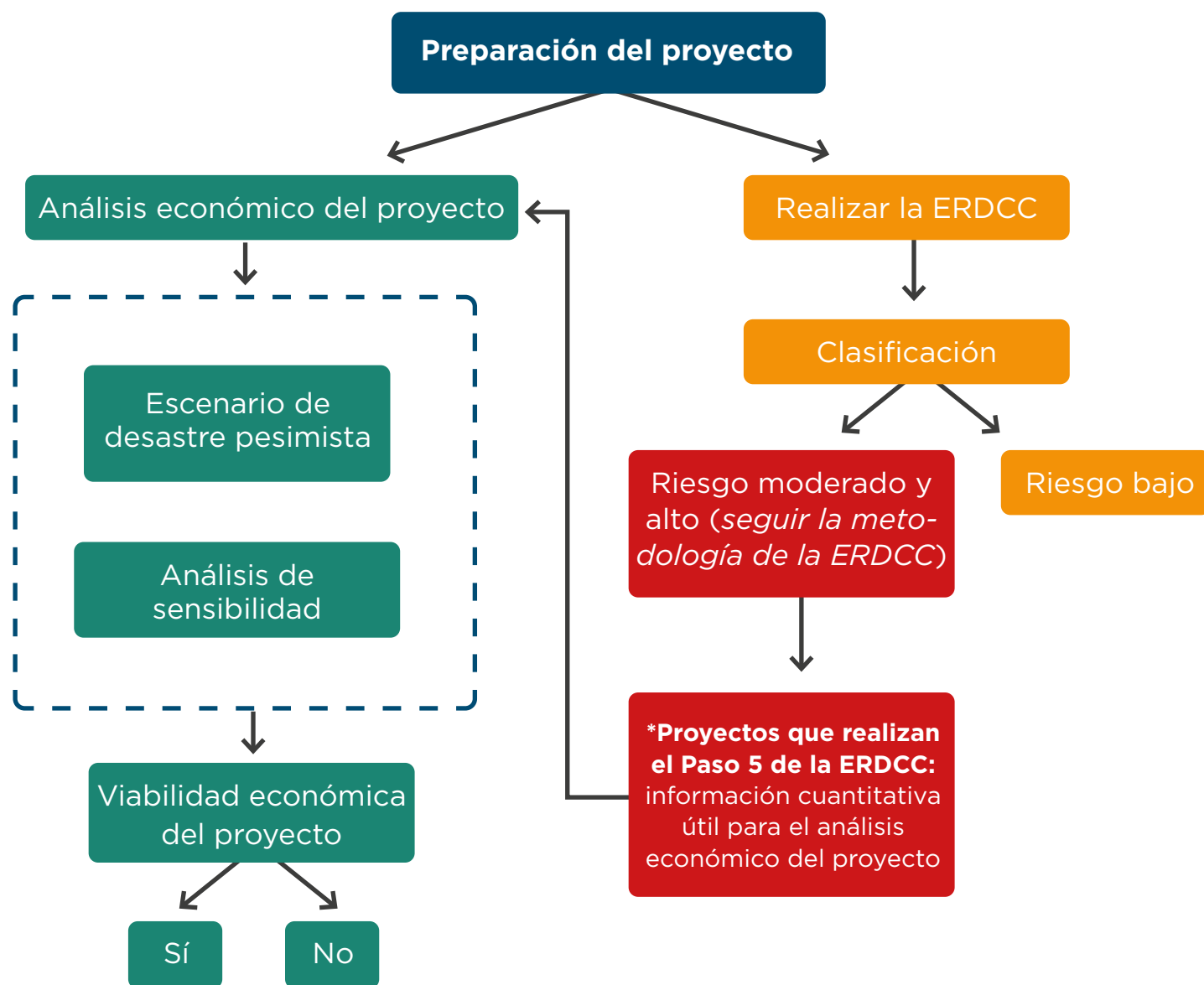
Apéndice H: Incorporación del riesgo de desastres y cambio climático al análisis de viabilidad económica*

En el contexto del financiamiento al desarrollo, el análisis de costo beneficio (ACB) es una herramienta útil para tomar decisiones cuando existen alternativas similares (es decir, intervenciones que persiguen las mismas metas de desarrollo) que pueden compararse en términos de indicadores de viabilidad económica, como el valor presente neto (VPN) o la tasa interna de retorno (TIR). Al comparar alternativas similares con un VPN positivo, los analistas interesados en la viabilidad económica de un proyecto deben escoger aquellas intervenciones con mayor VPN, dado que ofrecerán mayores retornos económicos al país que implemente la alternativa seleccionada. El proceso de formulación de proyectos del BID requiere la realización de un ACB a modo de análisis económico ex-ante (en una etapa temprana durante la preparación del proyecto) para evaluar la viabilidad económica (BID-OVE, 2008).¹ Este apéndice propone un modo de incorporar la dimensión de desastre y cambio climático en el ACB del proyecto. Si bien esto no constituye actualmente un paso formal de la metodología de la ERDCC, los dos procesos se interrelacionan, tal como se observa en el Diagrama AH.1.

El recuadro con línea punteada es el objeto de análisis de este apéndice. Luego de la clasificación inicial de los proyectos realizada en la Evaluación de Riesgo de Desastres y Cambio Climático (ERDCC), algunos proyectos son categorizados como de riesgo moderado o alto. En este apéndice se incorporan consideraciones sobre riesgo de desastres y cambio climático al proceso del ACB de esos proyectos a fin de incorporar dicho riesgo como un factor de la viabilidad económica. El vínculo conceptual entre el riesgo de desastres y cambio climático y el análisis económico del proyecto se basa en la idea del “escenario de desastre más pesimista” que afecta los beneficios esperados de un proyecto o alternativa. En la ERDCC los proyectos que realizan el Paso 5 cuentan con información cuantitativa útil que puede utilizarse en el ACB del proyecto. Además, la información cualitativa sobre beneficiarios también sería útil para el análisis de viabilidad económica del proyecto, es decir, información sobre los efectos posibles que cualquier evento podría tener sobre los beneficiarios y cómo el evento puede reducir los beneficios esperados del proyecto en cualquier punto en el tiempo.

*Trabajo realizado por Eduardo Zegarra, investigador senior de GRADE y consultor económico del BID, con aportes y orientación directa del equipo del BID, en particular Roberto Guerrero, Maricarmen Esquivel, Daniela Zuloaga y Sergio Lacambra.

¹ “Numerosas operaciones del BID incluyen un análisis económico que utiliza la Tasa de Rendimiento Económico (TRE) para evaluar en qué medida los esfuerzos del Banco contribuyen al desarrollo económico. La TRE compara la tasa de interés de una operación con los costos de capital y beneficios de los países descontados durante el ciclo de vida de la operación. También se utilizan otros indicadores de costo-beneficio como referencia para monitorear los aportes al desarrollo económico durante el ciclo de vida del proyecto” (véase: <https://www.iadb.org/en/office-strategic-planning-and-development-effectiveness/development-effectiveness>). El análisis económico a nivel del proyecto no debe confundirse con el análisis económico descrito en el Paso 5 de este documento.

Figura AH.1. Relaciones entre la ERDCC y el ACB

Este apéndice se divide en tres secciones. La **primera sección** analiza conceptos básicos de cualquier ACB, incluida una comparación de alternativas y un análisis de sensibilidad. Se trata de una descripción estándar de prácticas generales con respecto a los ACB que subraya la importancia de conceptos como beneficios, costos, beneficiarios, tasa de descuento, horizonte temporal y VPN. La **segunda sección** desarrolla la base conceptual para incorporar el riesgo de desastres y cambio climático en el ACB del proyecto con base en conceptos como el periodo de retorno. En esta sección se propone un modo práctico para incorporar el riesgo en el ACB en un escenario donde puede ocurrir un desastre con periodo de retorno de 100 años (originado por amenazas naturales) y el proyecto presentaría menores beneficios.² Se proponen cálculos simples que pueden incorporarse en el ACB de cualquier proyecto para evaluar el nivel de riesgo de diferentes alternativas **dentro** del proyecto con base en los VPN y en los perfiles de tiempo. La **tercera sección** aborda el modo en que el análisis del riesgo de desastres y cambio climático puede incorporarse en el análisis de sensibilidad del ACB. Este apéndice ofrece ejemplos gráficos y numéricos tomados de datos hallados en CBA reales aplicados en proyectos de infraestructura del BID para orientar al lector en el “cómo hacerlo”.

² Se trata de una simplificación acerca de qué podría ocurrir a un proyecto al enfrentarse a una amenaza natural. El periodo de retorno óptimo a utilizar debería variar dependiendo de la amenaza en cuestión. Además, este análisis supone una pérdida total de beneficios.

AH1. Principales elementos del ACB

Para relacionar el riesgo de desastres y cambio climático con el análisis económico del proyecto (usualmente realizado mediante el ACB), es importante describir los conceptos básicos utilizados en ambos enfoques.

AH1.1. Principales conceptos del ACB

El ACB debe determinar con claridad los siguientes tres elementos clave:

- i. **Beneficios:** la corriente de servicios tangibles e intangibles que los beneficiarios obtendrán del proyecto. Por ejemplo, un proyecto destinado a la construcción de una nueva vía o a la mejora de una existente generará beneficios a los usuarios en términos de cantidad de viajes por día y les permitirá obtener mayores ingresos y/o utilidades de esos viajes. Análogamente, los proyectos de suministro de agua y de gestión de aguas residuales mejoran el bienestar de los usuarios que recibirán esos servicios, lo cual es crítico para su salud y actividades económicas. Estos beneficios son valorados y proyectados en el ACB.
- ii. **Costos:** la corriente de recursos que el proyecto requerirá, incluidas las inversiones y los costos operativos y de mantenimiento. Cada proyecto tiene una estructura de costos específica relacionada con el diseño y los materiales a utilizar en la instalación. Los gastos operativos y de mantenimiento también son importantes y pueden ser cruciales para asegurar la sostenibilidad del proyecto en el largo plazo. En un contexto de exposición al riesgo de desastres y cambio climático, las acciones para mitigar el riesgo según los niveles requeridos también son consideradas parte de la estructura de costos del proyecto.
- iii. **Beneficiarios:** los agentes que reciben los beneficios y, en algunos contextos, los que financian parcial o totalmente los costos del proyecto. En un ACB es importante saber quiénes son los beneficiarios y dónde están situados, y cuál es su situación “de línea de base” en términos de los servicios que brindará la instalación. Una parte muy importante del ACB es generar estimaciones confiables sobre cómo los beneficiarios del proyecto cambiarán la corriente de servicios procedentes del proyecto con respecto a su situación actual.

En una situación ex-ante, es decir, antes de que el proyecto sea implementado, los tres elementos se basan en la mejor información disponible y las proyecciones se realizan con base en una **serie de supuestos** y otros estudios y/o modelos de comportamiento. El analista a cargo del ACB debe evaluar al menos tres situaciones con respecto a estas variables: (i) situación de línea de base (actual); (ii) escenario futuro sin el proyecto; (iii) escenario futuro con el proyecto. La comparación de los valores de los beneficios y costos de (ii) y (iii) es fundamental para evaluar los beneficios netos esperados del proyecto. Además, para una “idea de proyecto” determinada, es importante que se evalúe más de una alternativa para generar beneficios, por lo que el ACB puede utilizarse para comparar alternativas. Para formalizar estas ideas, se define el beneficio esperado neto de un proyecto (o de una alternativa para hacer un proyecto³) en el momento “t” del siguiente modo:

$$B_t = N_t * y_t - C_t \quad (1)$$

Donde:

B: es el beneficio neto del proyecto en el momento “t”

N: es el número de beneficiarios del proyecto en el momento “t”

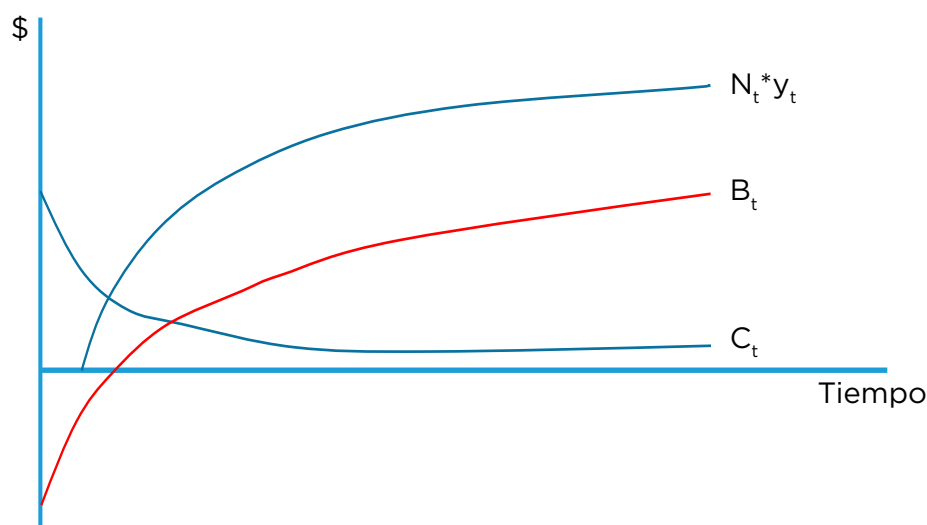
y: es el beneficio esperado por beneficiario en el momento “t”

C: es el costo total del proyecto en el momento “t”

3 “Proyecto” y “alternativa para hacer un proyecto” se utilizan de forma indistinta en todo el texto.

La Figura AH.2 muestra una evolución típica de los componentes de (1) con el transcurso del tiempo.

Figura AH.2. Corriente teórica de beneficios y costos en los proyectos



Los costos de inversión se incurren en los primeros años y, una vez finalizadas las obras, se incurre en costos operativos y de mantenimiento (O&M). Los beneficios comienzan a ocurrir después de la conceptualización del proyecto y suelen aumentar a un ritmo descendente a medida que se van incorporando beneficiarios al proyecto y el servicio se estabiliza de acuerdo a la demanda. Normalmente, se prevé que los beneficios netos de un proyecto sean negativos durante los primeros años pero una vez transcurrido un tiempo comienzan a ser positivos.

Existen otros conceptos clave del ACB que se relacionan de forma directa con el modo en el que el tiempo es considerado en el análisis. En primer lugar, existe la tasa de descuento, que se utiliza para evaluar el futuro en términos del presente, es decir, cuánto está dispuesto a pagar un agente económico promedio por cada dólar que recibirá en el futuro. Por ejemplo, si un agente paga 80 centavos por un dólar a recibir el siguiente año, su tasa de descuento anual es del 25% ($0,80=1/(1+0,25)$). La tasa de descuento es un parámetro clave en el ACB para valorar los flujos económicos futuros (beneficios y costos).

La otra variable importante en el ACB es el horizonte temporal a aplicar a la evaluación económica del proyecto. Es el periodo en el cual el análisis se realiza e influenciará también la tasa de descuento del proyecto. En términos formales, el VPN de un proyecto se define del siguiente modo:

$$VPN = \sum_{t=1}^T \frac{B_t}{(1+\delta)^t} \quad (2)$$

En la ecuación t representa el periodo de tiempo, T es el horizonte temporal del proyecto y δ es la tasa de descuento. Los proyectos del BID se suelen evaluar considerando tasas de descuento del 12 por ciento⁴ con horizontes de tiempo de 10 a 30 años (BID-OVE, 2008). En los proyectos de infraestructura el horizonte de tiempo escogido para la evaluación económica suele coincidir con la vida útil prevista de la instalación. Como alternativa, puede fijarse en un plazo inferior a la vida útil prevista de

⁴ La tasa de descuento utilizada para el ACB tiene implicancias importantes en términos de los tipos de proyectos (y escenarios) que es más probable financiar. Los proyectos cuyos beneficios esperados ocurren mayormente en un futuro lejano (generaciones futuras) tendrán menores retornos esperados que los proyectos con amplios beneficios esperados durante sus años iniciales. Una alternativa para reducir este sesgo es utilizar tasas de descuentos variables en el tiempo (decrecientes), de modo que los retornos futuros estén menos penalizados (Véase Campos, Serebrisky y Suárez-Alemán, 2016).

la instalación pero se incluye un valor residual en el último año del horizonte escogido.

Un concepto relacionado con el VPN es la tasa interna de retorno (TIR), que se define como la tasa de retorno (" δ ") que lleva el VPN a 0. Si en un proyecto la TIR es mayor que la " δ " asumida, se dice que el proyecto es económicamente viable (es decir, tiene un VPN positivo). La TIR puede compararse entre diferentes proyectos (utilizando la misma tasa de descuento y el mismo horizonte) para evaluar cuál es el más rentable.

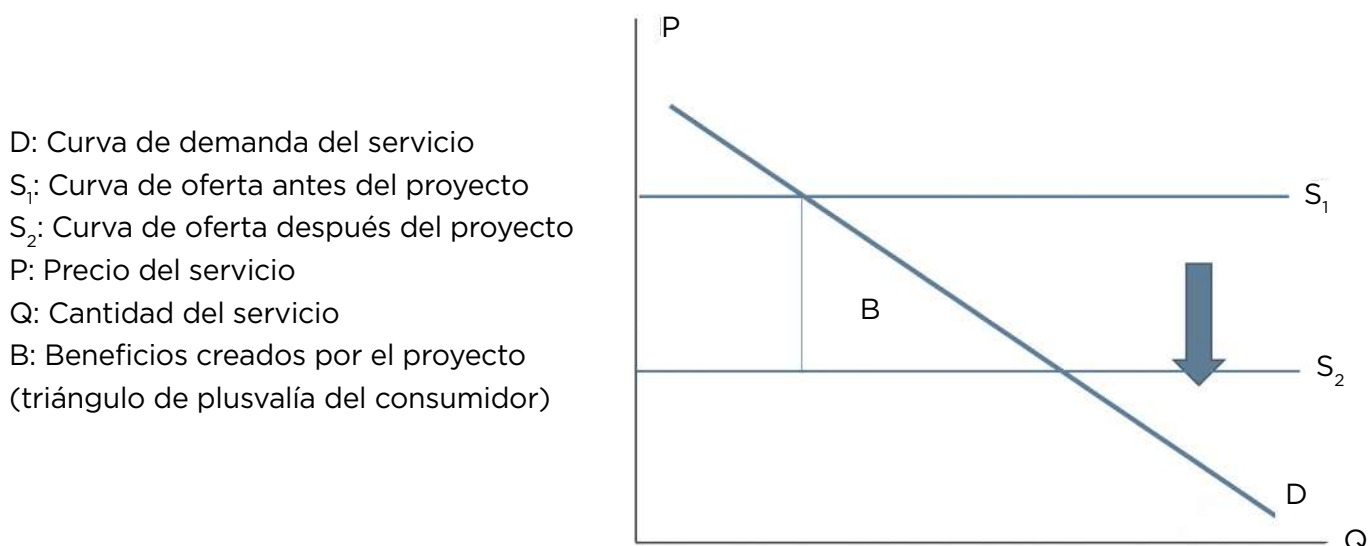
Otra forma muy común de evaluar proyectos es utilizar una relación costo-beneficio (el costo dividido por los beneficios, ambos a valor presente) para evaluar la rentabilidad relativa del proyecto. Si la relación es inferior a 1, es decir, los costos son menores que los beneficios a valor presente, se dice que el proyecto es rentable. La relación costo-beneficio actualmente se considera como un indicador de uso reducido para comparar proyectos o alternativas debido a que su valoración es sensible a la escala; por este motivo, el VPN se prefiere como indicador para comparar y valorar proyectos y alternativas (ADB, 1015). Todos los ACB incluyen algunos o todos estos conceptos aplicados a proyectos o inversiones específicas.

AH1.2. Análisis de sensibilidad en el ACB

En un análisis de sensibilidad se modifican ciertos supuestos o parámetros del ACB y se estiman sus efectos en el VPN de los beneficios. Los supuestos que tienen grandes impactos en estas estimaciones se consideran de alta relevancia y deben estar fuertemente respaldados por evidencia y/o conocimiento previo riguroso.

Existen modos alternativos de realizar análisis de sensibilidad en el contexto del ACB, que dependen de las variables y los parámetros que se utilizan para simular la corriente de beneficios a VPN. Variables como la demanda y la oferta del servicio, su precio y la estructura de costos del proyecto suelen ser parte del análisis de sensibilidad en proyectos de infraestructura. En general, los proyectos de infraestructura aumentan la oferta con respecto a cierta demanda de un servicio o bien, por lo que el precio cae y los consumidores obtienen beneficios a partir de un mayor consumo (más acceso) a un precio menor. La Figura AH.3 describe algunas de las principales variables detrás de estos tipos de beneficios en un proyecto de infraestructura.

Figura AH.3. Beneficios generados por un proyecto de infraestructura

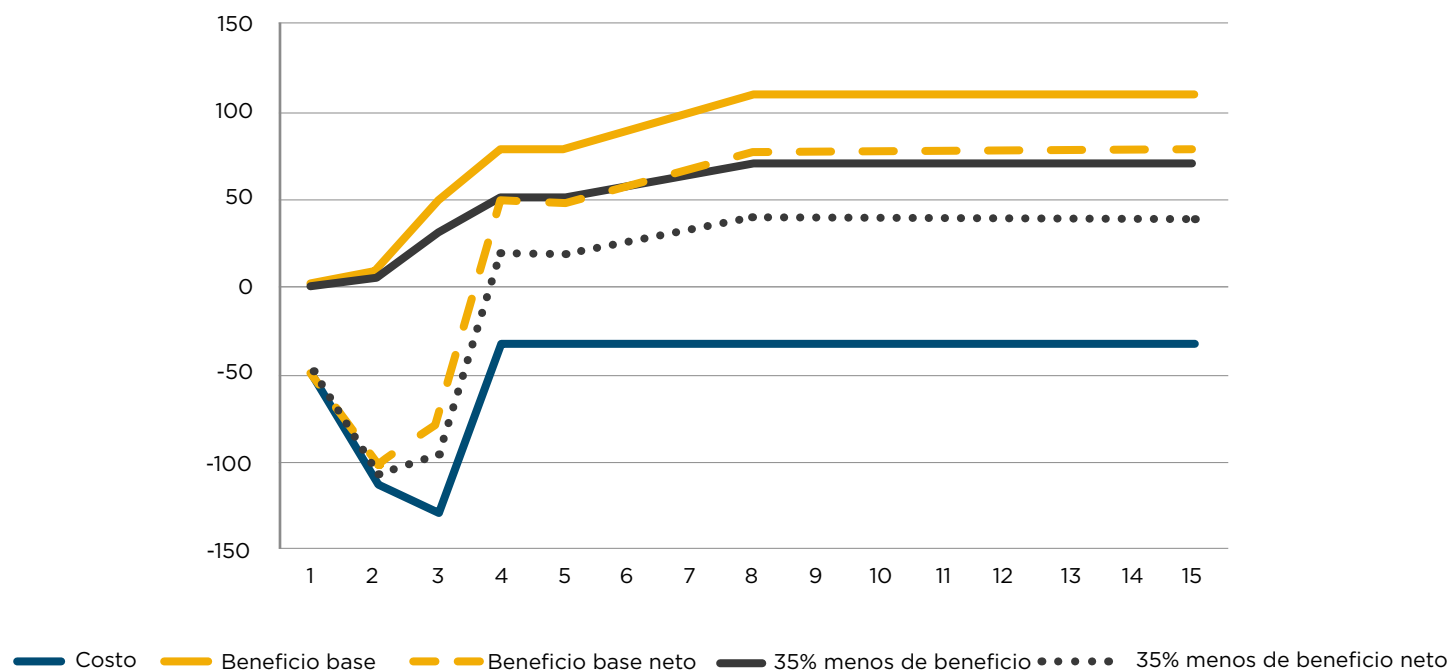


Los beneficios del proyecto (B) proceden de trasladar la oferta de S1 a S2 (el proyecto generará el mismo servicio o producto a un precio menor que antes). Los beneficiarios obtienen la plusvalía del consumidor, mediada como la superficie del triángulo B, como resultado de la intervención. En la mayoría de los ACB hay variables similares a las que muestra la Figura AH.2, aunque la forma en que interactúan puede diferir de acuerdo al tipo de bien o servicio provisto. Tanto la oferta (S) como la demanda (D) dependen del precio (P) pero también de otras variables que se asocian a la tecnología, preferencias, cultura, geografía, etc. Por lo tanto, una parte importante del análisis de sensibilidad en el ACB se centra en considerar cuán sensibles son los beneficios del proyecto (B) a los cambios en estas variables (o parámetros detrás de ellas).

Como se explicó anteriormente, los beneficios proyectados se compararán con los costos proyectados del proyecto para calcular indicadores del ACB, como el VPN o la TIR. Por lo tanto, cualquier variable que impacte los beneficios tendrá efectos directos en los beneficios netos (beneficios menos costos).

Una dimensión adicional del análisis de sensibilidad son los costos del proyecto. En algunos casos estos costos se ajustan utilizando “precios sombra” para algunos insumos (por ejemplo, mano de obra y productos importados) y los cambios en estos parámetros pueden tener impactos en el VPN del proyecto. Además, un potencial aumento en los costos asumidos del proyecto puede tener impactos significativos en la rentabilidad del proyecto, lo cual también es parte del análisis de sensibilidad. En algunos casos, los costos operativos y de mantenimiento también pueden considerarse a efectos de la sensibilidad. Las Figuras AH.4 y AH.5 ofrecen ejemplos hipotéticos y genéricos de análisis de sensibilidad de cambios en beneficios y costos.

Figura AH.4. Análisis de sensibilidad de cambios en los beneficios esperados

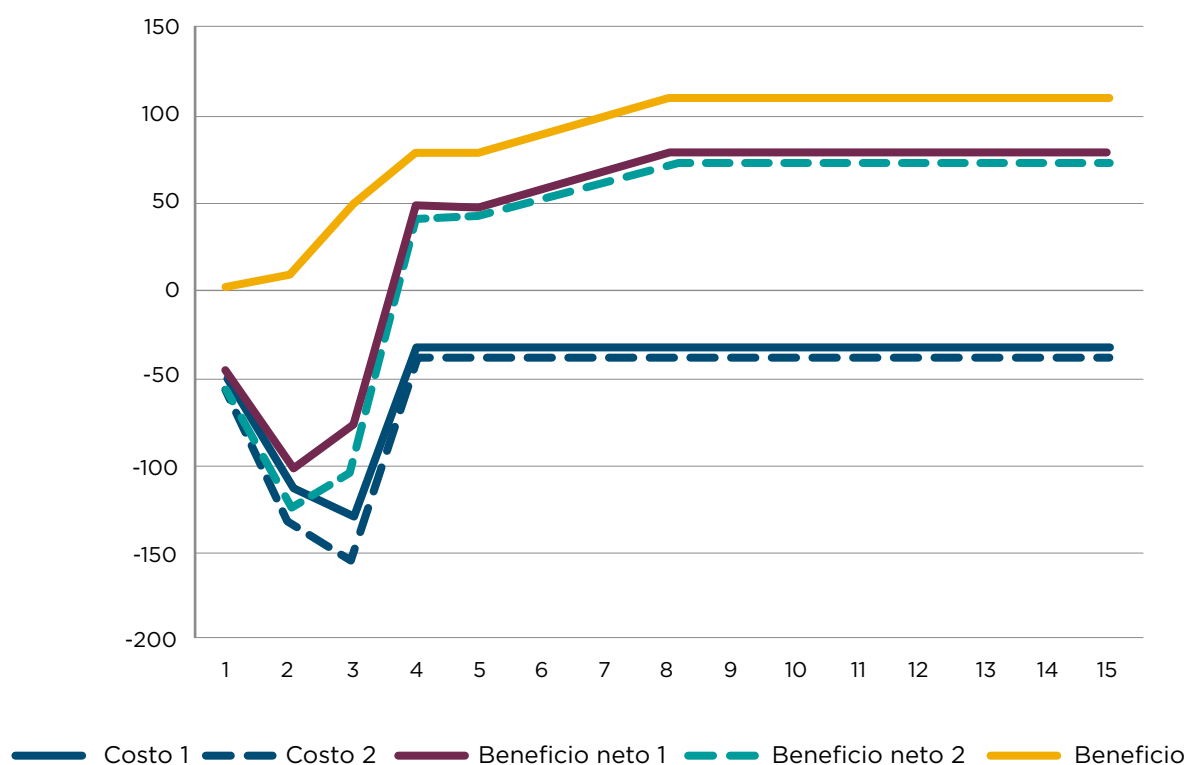


En este ejemplo, un proyecto hipotético con un horizonte de 15 años tiene un “escenario base” y un “escenario alternativo” en el que el cambio (digamos del 10 por ciento) en algunas variables específicas (precio, eficiencia técnica, parámetro de preferencias de consumo, etc.) generará una caída del 35 por ciento en los beneficios del escenario base. En el análisis de sensibilidad la idea es calcular cómo este cambio en los supuestos impacta el VPN y la TIR del proyecto. La Tabla AH.1 presenta el cálculo.

Tabla AH.1. Cálculo de los cambios en los beneficios esperados

	Base	35% menos beneficio
VPN (millones de USD)	115	-53
TIR	21%	7%

Un cambio del 10 por ciento en la variable genera una caída del 35 por ciento en los beneficios, lo que hará que el proyecto no sea rentable y su VPN pase de USD 115 millones a USD -53 millones. La TIR pasa del 21 por ciento al 7 por ciento (por debajo del factor de descuento del 12 por ciento). Este resultado indica que la variable detrás de este potencial cambio en los beneficios es muy importante en el ACB y el analista debe evaluar y validar con cuidado los supuestos tomados sobre el nivel base y la sensibilidad de dicha variable.

Figura AH.5. Sensibilidad en la estructura de costos de un proyecto

Este ejemplo toma el mismo proyecto que el ejemplo anterior, con un horizonte temporal de 15 años y similares beneficios base, pero en este caso un cambio en una variable o parámetro que afecta los costos genera un aumento del 20 por ciento en la estructura de costos durante todo el horizonte temporal. La Figura AH.5 muestra las corrientes del proyecto. El efecto del cambio en el VPN y en la TIR se calcula en la Tabla AH.2.

Tabla AH.2: Cálculo de los cambios en los costos esperados

	Base	20% de aumento en costos
VPN (millones de USD)	115	42
TIR	21%	15%

El cambio en el parámetro de costo que genera un aumento del 20 por ciento en los costos reducirá el VPN de USD 115 millones a USD 42 millones y la TIR de 21 por ciento a 15 por ciento. En este caso el proyecto continúa siendo rentable luego de este cambio pero los impactos en los indicadores de rentabilidad son significativos y los supuestos sobre la variable deben evaluarse con cuidado.

AH2. Incorporación del análisis de riesgo de desastres al ACB

AH2.1. Riesgo de desastres y cambio climático

La gran expansión demográfica, de las actividades económicas y de la infraestructura ocurrida durante el último siglo ha aumentado la relevancia y los impactos del riesgo de desastres como un factor clave que afecta y configura el desarrollo económico en muchos lugares del mundo, en especial en los países en desarrollo (Kull y otros, 2013). Esto ha motivado el desarrollo de publicaciones sobre la denominada “economía de los desastres” (Hallegatte y Przyluski, 2010) y sobre la “gestión del riesgo de desastres” desde la perspectiva del ACB (ERN-AL, 2012; Mechler, 2016). Una importante rama de publicaciones también se relaciona con los “costos de los desastres” (Bouwer y otros, 2014). Los impactos actuales y esperados del cambio climático en la frecuencia e intensidad de los fenómenos de desastres relacionados con el clima han agregado otra dimensión a esta ecuación (ADB, 2015; Herron y otros, 2015).

Las publicaciones sobre análisis del riesgo de desastres subrayan algunos conceptos que son útiles en el ACB. Desde el punto de vista de este apéndice, un concepto muy importante es la **curva de excedencia de pérdidas** (Mechler, 2016), que indica la probabilidad de que un evento no exceda (probabilidad de excedencia) cierto nivel de daños. El inverso de la probabilidad de excedencia es el **periodo de recurrencia o de retorno**. Es decir, un evento con una recurrencia de 100 años en promedio se espera que ocurra una vez cada 100 años. Esto no significa que un evento con una recurrencia de 100 años ocurrirá una vez cada 100 años. En cualquier periodo de 100 años, un evento con periodo de recurrencia de 100 años puede ocurrir muchas veces o no ocurrir, y cada evento tiene una probabilidad que puede estimarse. El Paso 5 de la Metodología incluye un análisis más completo sobre el periodo de retorno. En las siguientes secciones se utilizarán los conceptos desde la perspectiva del ACB para **generar una métrica del grado de riesgo del análisis económico de los proyectos**, es decir, el grado en que el análisis económico de un proyecto es vulnerable (en el contexto de la viabilidad económica), tanto en términos absolutos como relativos, a la ocurrencia de un evento catastrófico con 100 años de periodo de retorno.⁵

2.2. Una métrica para evaluar el grado de riesgo ante desastres del análisis económico del proyecto: “periodo de pérdida”

Con base en las ideas ya presentadas, se propone un método simple para generar una métrica proxy para medir la vulnerabilidad económica de los proyectos y la vulnerabilidad del perfil económico a shocks de desastre. Para ello, planteamos la siguiente pregunta:

¿Qué ocurriría con el VPN de un proyecto en un escenario «catastrófico» o pesimista en el que un evento con 100 años de periodo de retorno ocurre durante el horizonte temporal del proyecto?

⁵ Se trata de una simplificación acerca de qué podría ocurrir a un proyecto al enfrentar una amenaza natural. El periodo de retorno óptimo a utilizar debería variar dependiendo de la amenaza en cuestión. Además, este análisis supone una pérdida total de beneficios ante un evento con periodo de retorno de 100 años.

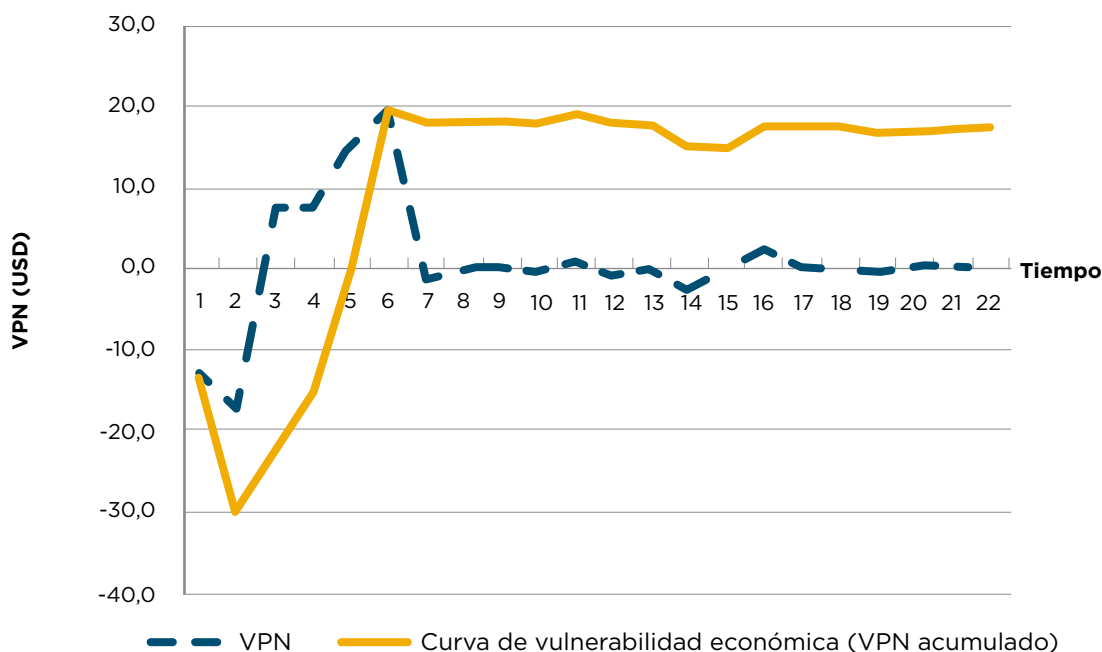
Aquí **escenario pesimista significa** que, una vez ocurrido el desastre, el proyecto quedará totalmente destruido, es decir, no podrá brindar más beneficios a la población. No obstante, la selección de un periodo de retorno extremo que represente la destrucción total del activo debe realizarse de manera específica para la amenaza y el sector en cuestión y depende de éstos ya que, por ejemplo, un periodo de retorno de 100 años es demasiado bajo (o demasiado recurrente) para destrucción completa por riesgo sísmico dado que, en general, las edificaciones están diseñadas para un periodo de retorno de 475 años.

Considerando esta definición, se puede calcular el VPN en cada año del horizonte temporal y verificar si es negativo o positivo y luego calcular el VPN acumulado. El **VPN acumulado** puede considerarse como una curva característica del proyecto que es intrínseca a éste y representa el grado de sensibilidad del flujo económico del proyecto ante un desastre significativo. Por lo tanto, en este contexto puede considerarse como una **curva de vulnerabilidad económica**. A continuación se muestra un ejemplo que utiliza datos tomados de un ACB de un proyecto del BID.

Ejemplo 1

En este proyecto, presentado en la Figura AH.6, los beneficios anuales esperados a valor presente (línea punteada) son negativos durante los dos primeros años; en los años 3 a 6 se observan considerables beneficios adicionales a VPN. Después del año 6, no obstante, los beneficios adicionales son marginales o incluso negativos en algunos años. Con base en esta información (generalmente disponible en cualquier ACB estándar), el VPN esperado acumulado puede construirse en la figura (línea sólida) **acumulando el VPN hasta cada año**. Como puede observarse, el VPN del proyecto es negativo durante los primeros cinco años y recién a partir del año 5 pasa a ser positivo.

Figura AH.6. VPN de los beneficios de un proyecto vial del BID



El periodo en el que la curva de vulnerabilidad económica (VPN acumulado esperado) es negativa se denomina “periodo de pérdida” (en este caso, cinco años). Si el proyecto sufre un evento catastrófico en cualquier año durante el periodo de pérdida, el proyecto no recuperará los costos. Por lo tanto, esto puede utilizarse para construir una métrica del grado de riesgo del proyecto (que no

reemplaza un análisis riguroso de riesgo de desastres y cambio climático de acuerdo a la Metodología de la ERDCC y tampoco se utiliza para informar y diseñar el proyecto). Este análisis puede utilizarse para medir el riesgo/la sensibilidad en cuanto a un rendimiento deficitario en términos de viabilidad económica.

Se propone un enfoque simplificado basado en un periodo de retorno de 100 años y un horizonte temporal T para construir esta medida del grado de riesgo. Esto se realiza para calcular de forma aproximada la sensibilidad del perfil económico del proyecto a un evento de desastre. En cualquier proyecto, si un evento catastrófico ocurre durante el periodo de pérdida k (<T, el horizonte temporal), su probabilidad de ocurrencia será:

$$q = k/100 \quad (3)^6$$

donde q se define como la probabilidad de ocurrencia del desastre durante el periodo de pérdida en el que el VPN acumulado general es negativo. En el ejemplo de la Figura AH.5, el valor de q es 0,05 (5/100).

Además, **la pérdida esperada promedio** durante el periodo de pérdida puede definirse del siguiente modo:

$$P.prom = \sum_1^k VPN_t / k \quad (4)$$

Esto será un valor negativo que mide la intensidad promedio de las pérdidas económicas si ocurre un desastre durante el periodo de pérdida. Dadas estas definiciones, el VPN del proyecto puede evaluarse del siguiente modo:

$$E(VPN) = q * P.prom + (1 - q) * VPN(ND) \quad (5)$$

donde VPN(ND) es el VPN original del proyecto cuando no ocurre ningún desastre durante el horizonte T. Ambos lados de (5) pueden dividirse por VPN(ND) para obtener el índice de grado de riesgo:

$$\text{Índice de riesgo} = \frac{E(VPN)}{VPN(ND)} = 1 + q * \left(\frac{P.prom}{VPN(ND)} - 1 \right) \quad (6)$$

El grado de riesgo del proyecto es menor cuando q=0 (no hay desastre en el análisis), es decir, cuando el índice de riesgo alcanza un valor máximo de 1 en la ecuación (6). Debido a que la pérdida promedio es siempre un valor negativo, el índice de riesgo se relacionará negativamente con q (y también con k, la duración del periodo de pérdida). Además, una pérdida promedio absoluta mayor (más negativa) reducirá el valor del índice de riesgo, lo cual refleja un mayor grado de riesgo del proyecto. Por lo tanto, el índice de riesgo en (6) será como máximo 1 (no hay desastre) y será cada vez menor mientras más riesgoso sea el proyecto evaluado desde el punto de vista de la viabilidad económica (tiene mayor k, o mayores pérdidas absolutas) en términos de la comparación entre el VPN acumulado esperado: E(VPN) con desastre y VPN(ND) sin desastre en (6)⁷. Por lo tanto, (6) **el índice de riesgo** ofrece una métrica **simplificada** para medir la **sensibilidad al riesgo de desastres y cambio climático** (en un contexto aproximado e hipotético) de la viabilidad económica (ACB) de cualquier proyecto en el que la corriente de beneficios a VPN es conocida.

6 Se asume que el evento podría ocurrir una vez cada 100 años. En términos realistas, el evento podría ocurrir varias veces en ese periodo de tiempo.

7 El índice de riesgo puede volverse negativo si la pérdida promedio es alta en términos absolutos (muy negativo), la probabilidad q es alta (muchos años de pérdidas potenciales si ocurre un desastre) o si se dan ambas situaciones.

Ejemplo 2

El recuadro AH.1 muestra cálculos (6) para un proyecto con las corrientes presentadas en la Figura AH.6 (proyecto vial).

Recuadro AH.1. Cálculo de la expresión (6) para un proyecto vial del BID

	Variable	Descripción	Unidades	Valores
	d	Tasa de descuento	%	12%
Acumulado	VPN(ND)	Valor Presente Neto sin desastre	Millones de USD	17,2
	TIR	Tasa Interna de Retorno	%	29,10%
	R	Periodo de retorno	Años	100
	T	Horizonte temporal "T"	Años	22
	k	Años de periodo de pérdida	Años	5
Acumulado	P.Prom.	VPN promedio con desastre en periodo de pérdida	Millones de USD	-16,2
	$q=k/R$	Probabilidad de desastre durante periodo de pérdida	Probabilidad	0,05
Acumulado	E(VPN)	$q \cdot P.Prom. + (1-q) \cdot VPN(ND)$	Millones de USD	15,51
	Índice de riesgo	$E(VPN)/VPN$	Índice	0,9

Como se observó en la Figura AH.6, el periodo de pérdida **k** de este proyecto era de cinco años y la probabilidad **q** de un desastre catastrófico con periodo de retorno de 100 años pasa a ser $q=5/100=0,05$. Además, la pérdida promedio (**P.prom.**) del periodo de pérdida es USD -16,2 millones. El VPN esperado del proyecto con desastre E(VPN) es USD 15,5 millones. La pérdida promedio es ponderada por la relativamente baja probabilidad (5 por ciento) de que el desastre ocurra durante los primeros cinco años del proyecto y el índice de riesgo es de 0,90. Esto implica que, al considerar un periodo de pérdida, el VPN esperado disminuye cerca del 10 por ciento con respecto a la línea de base que no incorpora criterios del análisis de riesgo de desastres y cambio climático (y sin periodo de pérdida). El proyecto aún sería económicamente viable.

Este método puede utilizarse para evaluar alternativas para el mismo proyecto. En el ACB del proyecto vial descrito en el Recuadro AH.1, por ejemplo, había dos alternativas (alternativas A y B, que diferían en el tipo de vía a construir). El Recuadro AH.2 muestra cómo se mide (6) - el índice de riesgo - para estas alternativas.

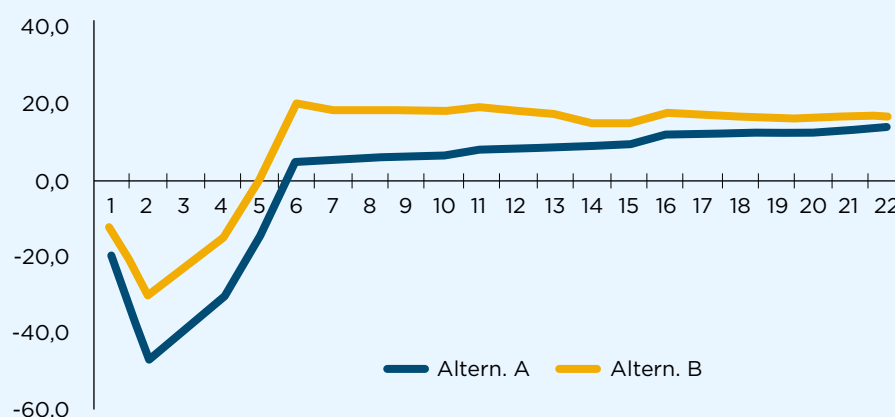
En conclusión, el riesgo de desastres afectará los beneficios netos acumulados esperados de los proyectos al considerar la probabilidad de que ocurra un evento dañino con periodo de retorno de 100 años durante el periodo de pérdida, asumiendo que el activo de infraestructura queda totalmente destruido o inhabilitado para generar beneficios a la población luego de la ocurrencia. Se desarrolló un índice de riesgo (fórmula (6)) que mide el grado de riesgo relativo de los proyectos y/o de alternativas dentro de los proyectos en términos de viabilidad económica. El cálculo del índice requiere de un dato clave procedente del ACB para cada alternativa de proyecto, es decir, el perfil temporal del VPN, específicamente el **periodo de pérdida**, o el periodo de tiempo que el VPN necesita para alcanzar un equilibrio.

Ejemplo 3

Recuadro AH.2. Cálculo de la expresión (6) para un proyecto vial del BID

Variable	Descripción	Unidades	Altern. A	Altern. B
d	Tasa de descuento	%	12%	12%
VPN(ND)	Valor Presente Neto sin desastre	Millones de USD	14,1	17,2
TIR	Tasa Interna de Retorno	%	18,9%	29,10%
R	Periodo de retorno	Años	100	100
T	Horizonte temporal "T"	Años	22	22
k	Años de periodo de pérdida	Años	5	5
P.Prom.	VPN promedio con desastre en periodo de pérdida	Millones de USD	-30,5	-16,2
$q=k/R$	Probabilidad de desastre durante periodo de pérdida	Probabilidad	0,05	0,05
$E(VPN)$	$q \cdot P.Prom. + (1-q) \cdot VPN(ND)$	Millones de USD	18,86	15,51
Índice de riesgo	$E(VPN)/VPN$	Índice	0,84	0,9

VPN acumulado esperado (curva de vulnerabilidad económica) si ocurre un desastre en "t" para las alternativas A y B en el mismo proyecto.



La alternativa B tiene un índice de riesgo de 0,90, mientras que el índice de riesgo de la alternativa A es 0,84. Esto significa que la alternativa B tiene un menor grado de riesgo (en términos de un evento catastrófico) que la alternativa A. En este caso, la diferencia entre las dos alternativas procede de una pérdida promedio menor en el periodo de pérdida para A (USD -16,2 millones versus USD -30,4 millones). Ambas alternativas tienen un valor "k" de 5 años y un horizonte temporal de 22 años debido a que ambas son parte del mismo ACB.

AH3. Análisis de sensibilidad en un ACB con riesgo de desastres y cambio climático

El índice de riesgo de desastres descrito en la sección anterior puede utilizarse para comparar alternativas de un proyecto en términos de exposición económica relativa a riesgos catastróficos, como así también para enriquecer el análisis de sensibilidad de la alternativa de proyecto elegida. Cualquier información cualitativa o cuantitativa sobre el riesgo de desastres y cambio climático del proyecto también resultará útil para construir los escenarios. La información sobre vulnerabilidad y características específicas de grupos demográficos brindará más contexto para crear escenarios más realistas sobre la ocurrencia de desastres y sus impactos sobre los beneficios. Estos son datos importantes que pueden utilizarse para considerar escenarios de desastre alternativos a incluir en el análisis de sensibilidad.

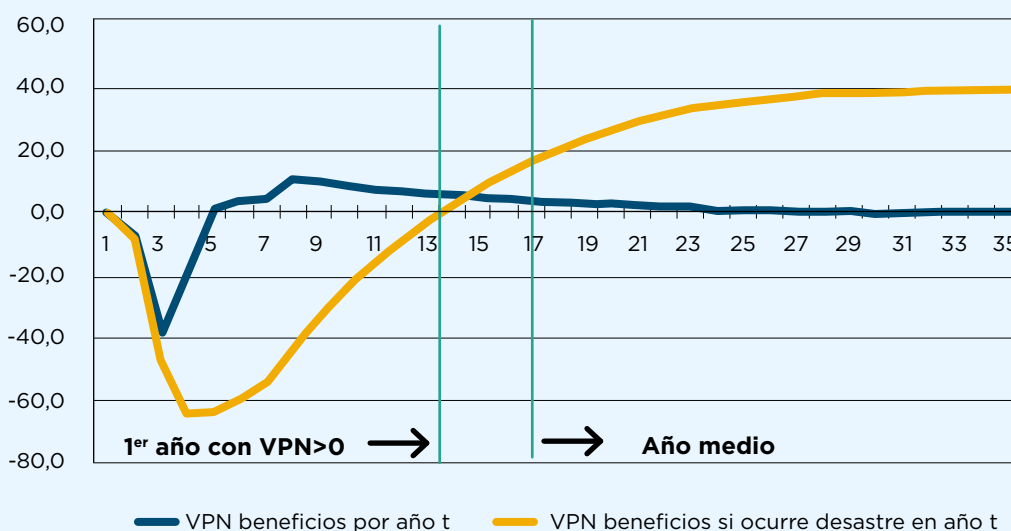
AH3.1 Incorporación de escenarios de riesgo de desastres y cambio climático

Ejemplo 4

El Recuadro AH.3 muestra un ejemplo de incorporación de dos escenarios más al análisis de sensibilidad (además del análisis de vulnerabilidad económica del periodo de pérdida realizado en la Sección 2): (i) el impacto de que ocurra un desastre en el año medio y (ii) el impacto de que ocurra un desastre después del primer año con VPN acumulado esperado positivo. Este ejemplo corresponde a un proyecto de energía del BID.

Recuadro AH.3. Desastre que ocurre en uno de dos momentos críticos del proyecto

En este ejemplo, se realiza un análisis de sensibilidad utilizando dos escenarios: desastre que ocurre en el año medio y desastre que ocurre en el primer año con VPN mayor a cero. La figura y la tabla muestran los resultados de este ejercicio para este proyecto.



	Base	Desastre en el año medio	Desastre en el 1er año con VPN>0
VPN (millones de USD)	39,0	20,0	2,7
TIR	17,7%	15,9%	12,7%

El primer escenario de desastre reduce el VPN de USD 39 millones a USD 20 millones (año medio) y el segundo a USD 2,7 millones (primer año con VPN>0). La TIR pasa de 17,7 por ciento en el escenario base a 15,9 por ciento en el escenario del año medio y a 12,7 por ciento en el escenario del primer año con VPN>0. En este último escenario, el proyecto es mínimamente factible en términos económicos (0,7 por encima del factor de descuento del 12 por ciento).

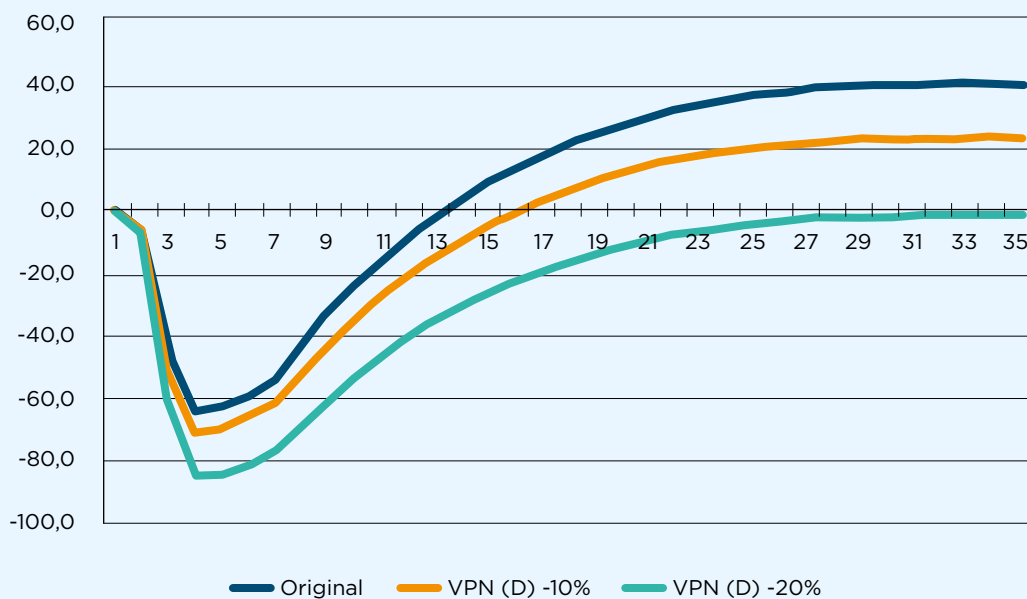
Al incluir un escenario adicional en el análisis de sensibilidad aplicando el mismo método utilizado para el cálculo de (6) - el índice de riesgo - se crean escenarios donde el VPN esperado de los beneficios es menor cuando ocurre el evento. La propuesta es desplazar hacia abajo la curva de vulnerabilidad económica (VPN acumulado) en un 10 por ciento y un 20 por ciento y evaluar la TIR y el VPN acumulado en el primer año con VPN acumulado positivo en la curva de vulnerabilidad económica original. El cálculo se muestra en el siguiente ejemplo.

Año con VPN>0 en la curva original.

Ejemplo 5

Recuadro AH.4. Escenarios que disminuyen el VPN

Utilizando datos de un proyecto del BID, la curva del VPN (desastre en t) desciende un 10 por ciento y un 20 por ciento, como lo muestra el siguiente gráfico.



	Base	1 ^{er} año con VPN>0	-10%	-20%
VPN (millones de USD)	39,0	2,7	-10,6	-31,5
TIR	17,7%	12,7%	9,4%	4,8%

El escenario de -10% reduce el VPN a USD -10,6 millones y el de -20% a USD -31,5 millones. La TIR disminuye a 9,4 por ciento en el escenario del -10 por ciento y a 4,8 por ciento en el escenario del -20 por ciento. El proyecto ya no es económicamente viable en estos dos escenarios donde el VPN se reduce un 10 por ciento y un 20 por ciento.

AH4. Conclusiones

Este apéndice propone un modo de incluir la variable de desastre y cambio climático en el ACB de un proyecto. Se trata de un enfoque simple y preliminar con respecto a este tema, cuyo objetivo es iniciar un análisis con los economistas y equipos de proyecto. Es de suma importancia complementar los estudios de viabilidad económica, como el ACB, con consideraciones en materia de desastres y cambio climático, en particular para riesgo moderado o alto. **Este apéndice no constituye un paso formal de la metodología de la ERDCC** y no se lo debe confundir con otros análisis económicos realizados como parte de dicha evaluación.

El método presentado en este apéndice está basado en efectos de un escenario pesimista sobre los retornos económicos esperados (en el ACB del proyecto) y la sensibilidad del VPN y la TIR a un desastre que ocurra en el año medio del proyecto o bien después del primer año con VPN acumulado esperado positivo. Ciertamente se trata de una simplificación; el periodo de retorno óptimo a utilizar debería variar dependiendo de la amenaza en cuestión. Además, el considerar una pérdida total de

beneficios bajo un periodo de retorno de 100 años constituye un supuesto importante, debido a que dependería en gran medida de las amenazas y del proyecto en cuestión.

A pesar de estas limitaciones, este apéndice ayuda a brindar información inicial sobre cómo los desastres y el cambio climático podrían influenciar el estudio de viabilidad económica de un proyecto (es decir, el ACB). La información procedente de herramientas como la ERDCC puede utilizarse para enriquecer los escenarios analizados en este apéndice ya que proporciona a los responsables de tomar decisiones datos adicionales sobre el riesgo de desastres y cambio climático enfrentado por un proyecto en términos de los beneficios esperados. En un mundo donde las pérdidas ocasionadas por desastres y por el cambio climático pueden poner en peligro los logros del desarrollo y donde el ACB de un proyecto es una de las herramientas más importantes para tomar decisiones de inversión pública, el riesgo de desastres y cambio climático debe ser parte de la discusión.

Apéndice I: Términos de Referencia

Utiliza los siguientes modelos para desarrollar Términos de Referencia para la Evaluación de Riesgo de Desastres y Cambio Climático. Presentamos dos modelos, el primero para evaluaciones más simples y el segundo para evaluaciones más detalladas y complejas.

Página 390 **Evaluación de Riesgo de Desastres y Cambio Climático - Nivel de proyecto (simple)**

Página 396 **Evaluación de Riesgo de Desastres y Cambio Climático - Nivel de proyecto (completo)**

TÉRMINOS DE REFERENCIA

Evaluación de Riesgo de Desastres y Cambio Climático - Nivel de proyecto (simple)

1. Antecedentes y justificación

- 1.1. (Incluye una breve justificación de la existencia de este proyecto/contrato y explica porqué el proyecto/contrato es necesario. Esto ayudará a las firmas de consultoría a entender mejor la dirección y el contexto general del proyecto/contrato y sus metas. Esta justificación debe ser clara y precisa para identificar una medida cuantificable del éxito hacia el final del proyecto. Aquí puedes incluir la siguiente información, que puede organizarse y adaptarse según tu preferencia:
 - Describe el contexto del proyecto.
 - Ofrece información específica y antecedentes. Esto debe incluir ubicación del lugar de emplazamiento y entorno, descripción del proyecto, cronograma y gastos.
 - Describe las características y la criticidad del proyecto.
 - Ofrece información sobre las características de tu proyecto, incluida la identificación de componentes específicos del proyecto.
 - Presenta las amenazas de interés. No es necesario que brindes detalles en esta instancia, simplemente presenta las amenazas que son objeto del estudio e identifica modos de falla ilustrativos para proporcionar contexto y justificación.
 - Identifica diseños o planes relevantes específicos del proyecto. Si hay actividades de diseño relevantes (existentes, planeadas o en curso), identifícalas.
 - Si hay diseños disponibles, describe si las medidas de mitigación de amenazas y de adaptación al cambio climático fueron incorporadas al diseño del proyecto y, en caso afirmativo, cómo fueron identificadas/evaluadas.

- Si los diseños están planificados o en curso, describe el porcentaje terminado y/o el plazo en que se prevé que estén disponibles. En la sección Alcance del Trabajo (más adelante), deberás especificar la forma en que el consultor debe interactuar con el equipo/consultor de diseño para integrar los hallazgos.
- Ofrece un resumen general sobre consideraciones regionales, incluido el cambio climático. Describe consideraciones regionales que pueden ser útiles para que el consultor entienda mejor la exposición y/o vulnerabilidad del proyecto. Aquí puedes incluir:
 - Una breve descripción de las vulnerabilidades al cambio climático identificadas/ percibidas. Puedes incluir entendimiento situacional de los riesgos relacionados al cambio climático (directos e indirectos) para la ubicación geográfica, el sector o el área institucional del/de los proyecto/s.
 - Identifica actividades recientes o proyectadas que es crítico considerar. Aquí puedes incluir consideraciones de tendencias demográficas (incluido el crecimiento y la planificación urbana), tendencias económicas y de mercado más amplias, tendencias institucionales o de gobernanza o actividades de otros donantes.
 - Describe los arreglos institucionales del beneficiario del proyecto y cualquier otro marco de gestión u organizativo que puede ser útil para que el consultor entienda mejor la capacidad de adaptación del proyecto. Si existen cuestiones o desafíos conocidos en términos de capacidades, descríbelos aquí.
- Identifica otra información y actividades relevantes. Ofrece una descripción general de estudios existentes o planificados que pueden ser útiles para el consultor. Considera:
 - Otros estudios y actividades que pueden brindar información útil. Se existen estudios, modelos o datos producidos, descríbelos aquí.)

2. Objetivos

- 2.1. El propósito general de esta consultoría es desarrollar una Evaluación de Riesgo de Desastres y Cambio Climático (ERD) y un Plan de Gestión de Riesgo de Desastres y Cambio Climático (PGRD) asociado para el proyecto [[nombre del proyecto](#)], a fin de dotarlo de resiliencia y mejorar o aumentar su sostenibilidad.

3. Alcance de los servicios

- 3.1. Se espera que la ERD vaya más allá de una revisión genérica de la literatura sobre todos los riesgos posibles. En efecto, deberá enfocarse en las cuestiones específicas del proyecto identificadas como relevantes para esta evaluación de riesgo, que se especifican a continuación, y utilizar métodos aceptados o estándar para realizar un análisis [[cualitativo y/o cuantitativo](#)]. El riesgo de desastres y cambio climático debe evaluarse para las amenazas [[sísmica, volcánica, por deslizamiento de tierra, tsunami, viento huracanado, marea de tormenta, inundación pluvial y fluvial, inundación costera, aumento del nivel del mar y/u ola de calor](#)] en la zona de estudio de [[ubicación](#)] y específicamente con respecto a los siguientes componentes o aspectos de la operación: [[componentes/aspectos](#)].
- 3.2. El análisis debe ofrecer una medida [[cualitativa y/o cuantitativa](#)] de las condiciones de riesgo de línea de base, como así también de las alternativas de diseño o de operación propuestas (es decir, en una primera instancia para las condiciones existentes sin la

operación y en una segunda instancia para las condiciones nuevas generadas una vez que la operación esté implementada), con respecto a (i) la operación en sí y (ii) la zona y comunidades aledañas a la operación.

- 3.3. Es importante destacar que al evaluar el riesgo para las comunidades aledañas, se debe tener especial cuidado en identificar (i) el riesgo marginal y (ii) los impactos adicionales sobre dichas comunidades como resultado de la implementación de la operación. Al hacerlo, se debe tener en cuenta la diferencia entre riesgo e impactos. El riesgo se refiere al resultado final de combinar la magnitud de una consecuencia con su frecuencia de ocurrencia, mientras que los impactos se refieren a las consecuencias individuales e independientes de la frecuencia. Por lo tanto, puede haber casos en que la implementación de una operación genere impactos nuevos o adicionales sobre su entorno que no ocurrirían sin el proyecto, pero que en conjunto reduzca el riesgo. Por lo tanto, el riesgo marginal se refiere a identificar cómo el riesgo (incluidos tanto los sucesos recurrentes pequeños como los sucesos infrecuentes grandes) modifica el entorno con respecto a la situación sin la operación, asegurándose de que la operación no exacerbe el riesgo para su entorno. Sumado a esto, los nuevos impactos generados también deben ser identificados y evaluados.
- 3.4. Con base en un análisis minucioso de estos resultados, la consultoría debe ofrecer recomendaciones y lineamientos de diseño/gestión dirigidos a reducir o gestionar el riesgo de desastres tanto para la operación como para la zona aledaña, como así también un plan de gestión para los impactos identificados sobre las comunidades y población aledañas.

4. Actividades clave

4.1. [Realiza una evaluación de riesgo **cualitativa**.

4.1.1. Recopila información.

Recopila todos los datos valiosos sobre estudios, documentos y consideraciones que el proyecto ya pueda tener, y documenta cómo y en qué medida ya se han incorporado medidas de gestión de riesgo de desastres y cambio climático, e identifica brechas.

4.1.2. Realiza una evaluación cualitativa completa del riesgo.

Esto puede realizarse mediante un taller en el que trabajen expertos en riesgo de desastres y cambio climático con personal técnico de las firmas a cargo del diseño/ de la construcción y la agencia ejecutora de la operación para analizar y dimensionar todos los riesgos posibles, factores agravantes, posibles consecuencias y medidas de intervención. Otras técnicas cualitativas incluyen aplicar formalmente el método Delphi de consulta de opinión de expertos o utilizar matrices de riesgo. Se debe indicar si es posible caracterizar y estimar el orden de magnitud de posibles impactos sociales, económicos y ambientales que no serían posibles sin la existencia del proyecto.

4.1.3. Elabora un Plan de Gestión de Riesgo de Desastres y Cambio Climático.

Utilizando los resultados de la actividad previa, desarrolla un plan de gestión para las características de la operación que se considera que no condicionan la viabilidad técnica y/o económica del proyecto. Por otra parte, si se identifica que características específicas de la operación condicionan la viabilidad del proyecto, se las debe evaluar cualitativamente.]

4.2. Realiza una evaluación de riesgo **cuantitativa**.

- 4.2.1. Realiza una evaluación de riesgo de [insertar amenaza/s] de línea de base (condiciones actuales, antes de la intervención) para (a) la operación y (b) las comunidades de [nombre de las comunidades] situadas en la zona de influencia.

[Solo para amenazas hidrometeorológicas: para cada uno de estos análisis, se debe considerar dos configuraciones del modelo de riesgo, una sin considerar el cambio climático y la otra considerándolo]. Esta actividad incluye las siguientes actividades específicas:

- 4.2.1.1. Evaluación de amenazas: evalúa la amenaza [insertar amenaza/s] en términos de extensión espacial, intensidad y frecuencia de ocurrencia. Para ello, selecciona uno o más escenarios individuales de amenaza, que pueden ser reproducciones de sucesos históricos o escenarios modelados de diseño o pesimistas. [Inserta el método simplificado específico acorde a la amenaza específica]. [Solo para amenazas hidrometeorológicas: Es necesario considerar las amenazas según dos condiciones, es decir, considerando el cambio climático y sin considerarlo].
- 4.2.1.2. Evaluación de exposición: crea una base de datos georreferenciada de todos los activos físicos (infraestructura y edificios) y activos sociales (población) que son parte de (i) la operación en sí, si ya existe algo e incluye múltiples activos distribuidos espacialmente, y (ii) la zona de influencia aledaña (comunidades o asentamientos cercanos). Se los debe caracterizar mediante sus condiciones físicas, sus sectores de uso y su valor económico.
- 4.2.1.3. Evaluación de vulnerabilidad: evaluar las condiciones de vulnerabilidad de (i) el proyecto en sí (si ya existe algo) y (ii) activos y poblaciones circundantes. Se debe recurrir al mejor juicio profesional y opinión de expertos para asignar esta característica a activos individuales (para el caso de la operación) y activos agrupados (para múltiples activos en las comunidades aledañas).
- 4.2.1.4. Evaluación de riesgo: evaluar el riesgo resultante de la combinación de amenaza, exposición y vulnerabilidad evaluada antes. Para ello, utiliza herramientas de SIG para obtener los valores de la intensidad de la amenaza [inserta las medidas de intensidad correspondientes a cada amenaza] con respecto a la ubicación de cada activo expuesto, determina el correspondiente nivel de efecto negativo/daño esperado para cada activo bajo la intensidad de amenaza específica y, por último, asocia un valor económico a los niveles de daño computados para obtener el riesgo. [Solo para amenazas hidrometeorológicas: este cálculo debe realizarse dos veces, utilizando las condiciones de amenazas sin considerar el cambio climático y considerándolo].
- 4.2.2. Realiza una Evaluación de Riesgo de [inserta la/s amenaza/s] incluyendo la operación y alternativas.

Con base en los resultados obtenidos en la actividad 4.2.1, introduce el proyecto propuesto, junto con las medidas de reducción/mitigación de riesgo o medidas de intervención o las alternativas de diseño, y realiza una segunda evaluación de riesgo [inserta la/s amenaza/s] utilizando los mismos métodos y condiciones que en la actividad 4.2.1, ahora introduciendo estas intervenciones. Para ello, deben realizarse

modificaciones a las evaluaciones de la amenaza, exposición o vulnerabilidad, si corresponde, en respuesta a los cambios que puede causar la introducción de la operación y medidas de intervención.

Los resultados de cada una de las evaluaciones realizadas deben expresarse mediante las pérdidas económicas estimadas, y éstas deben compararse entre sí, pero, fundamentalmente, con los resultados de la actividad 4.2.1, analizando las diferencias de pérdidas entre las condiciones de línea de base y las condiciones posteriores a la implementación de la operación. También deben desarrollarse mapas de amenazas y de riesgo con respecto a los escenarios estudiados y compararse con los mapas de la actividad 4.2.1.

4.2.3. Elabora un Plan de Gestión de Riesgo de Desastres y Cambio Climático.

Utilizando los resultados de las actividades anteriores, elabora un plan de gestión de riesgos que considere medidas adicionales para reducir aún más el riesgo y controlar los impactos esperados.

5. Resultado esperado y entregables

5.1. Informe 1: plan de trabajo y metodología de estudio detallada

5.2. [Informe 2: diagnóstico de riesgo y datos de la evaluación de riesgo cualitativa (actividad 4.1.1)]

5.3. [Informe 3: resultados de la evaluación de riesgo cualitativa (actividad 4.1.2)]

5.4. [Informe 4: plan de gestión de riesgo de desastres y cambio climático de la evaluación de riesgo cualitativa (actividad 4.1.3)]

5.5. Informe 5: resultados de la evaluación de riesgo cuantitativa de línea de base (actividad 4.2.1)

5.6. Informe 6: resultados de la evaluación de riesgo cuantitativa incluyendo las operaciones y medidas de intervención (actividad 4.2.2)

5.7. Informe 7: plan de gestión de riesgo de desastres y cambio climático de la evaluación de riesgo cuantitativa (actividad 4.2.3)

6. Cronograma e hitos del proyecto

6.1. El Informe 1 debe presentarse dentro de los 10 días calendario posteriores a la firma del contrato.

6.2. El Informe 2 debe presentarse dentro de los 25 días calendario posteriores a la firma del contrato.

6.3. El Informe 3 debe presentarse dentro de los 40 días calendario posteriores a la firma del contrato.

6.4. El Informe 4 debe presentarse dentro de los 50 días calendario posteriores a la firma del contrato.

6.5. El Informe 5 debe presentarse dentro de los 80 días calendario posteriores a la firma del contrato.

6.6. El Informe 6 debe presentarse dentro de los 120 días calendario posteriores a la firma del contrato.

6.7. El Informe 7 debe presentarse dentro de los 130 días calendario posteriores a la firma del contrato.

7. Requisitos para la elaboración de informes

- 7.1. Todos los informes deben entregarse del siguiente modo: i) los correspondientes archivos electrónicos en MS Word, Excel u otra aplicación aceptable (con todos sus anexos y apéndices); ii) un archivo electrónico PDF para cada informe completo. Estos informes y archivos electrónicos deben entregarse dentro de los plazos mencionados anteriormente.
- 7.2. Presentar copias de trabajo verificadas de todos los archivos de mapas digitales (.shp, .tiff, .grd, .gdb, .mxd, etc.), modelos, bases de datos y otros archivos creados durante la consultoría.
- 7.3. Además, los hallazgos principales de la consultoría deben resumirse en una presentación en MS PowerPoint.

8. Criterios aceptables

- 8.1. (Describe los requerimientos de aceptación específicos: establece responsabilidades con respecto a la responsabilidad técnica y aprobación de productos.)

9. Otros requerimientos

- 9.1. (Describe requerimientos especiales, si los hay, como requerimientos en materia de seguridad, restricciones/requerimientos sobre acceso a TI o inactividad/mantenimiento del sistema, si es necesario.)
- 9.2. (Incluye otros detalles y aclaraciones sobre el método de riesgo específico a seguir.)
- 9.3. (Deben identificarse las calificaciones requeridas a expertos y personal clave. Como mínimo, se recomienda que el líder del equipo tenga experiencia demostrada en evaluación de riesgo de desastres y cambio climático y/o en gestión de riesgo, como así también en el sector y la región geográfica de interés. Debe incentivarse la conformación de equipos multidisciplinarios que abarquen los requerimientos relacionados con el proyecto y los riesgos. Como requerimientos adicionales con respecto a los integrantes del equipo puede incluirse título de posgrado en un campo de la ciencia pertinente al proyecto y/o al cambio climático. También se recomienda experiencia en la región y en el país de interés, como así también dominio del idioma correspondiente.)

10. Supervisión y responsabilidades

- 10.1. (Describe los requerimientos de aceptación específicos: establece responsabilidades con respecto a la responsabilidad técnica y aprobación de productos.)

11. Cronograma de pagos

- 11.1. (Describe el cronograma de pagos según los productos.)

TÉRMINOS DE REFERENCIA

Evaluación de riesgo de desastres y cambio climático - Nivel de proyecto (completo)

1. Antecedentes y justificación

- 1.1. (Incluye una breve justificación de la existencia de este proyecto/contrato y explica porqué el proyecto/contrato es necesario. Esto ayudará a las firmas de consultoría a entender mejor la dirección y el contexto general del proyecto/contrato y sus metas. Esta justificación debe ser clara y precisa para identificar una medida cuantificable del éxito hacia el final del proyecto. Esto puede incluir la siguiente información, que puede organizarse y adaptarse según tu preferencia:
 - Describe el contexto del proyecto.
 - Ofrece información específica y antecedentes. Aquí debes incluir ubicación del lugar de emplazamiento y entorno, descripción del proyecto y cronograma y gastos.
 - Describe las características y la criticidad del proyecto.
 - Ofrece información sobre las características de tu proyecto, incluida la identificación de componentes específicos del proyecto.
 - Presenta las amenazas de interés. No es necesario que brindes detalles en esta instancia, simplemente presenta las amenazas que son objeto del estudio e identifica modos de falla ilustrativos para el contexto y la justificación.
 - Identifica diseños o planes relevantes específicos del proyecto. Si hay actividades de diseño relevantes (existentes, planeadas o en curso), identifícalas.
 - Si hay diseños disponibles, describe si las medidas de mitigación de la amenaza y de adaptación al cambio climático fueron incorporadas al diseño del proyecto y, en caso afirmativo, cómo fueron identificadas/evaluadas.
 - Si los diseños están planificados o en curso, describe el porcentaje terminado y/o el plazo en que se prevé que estén disponibles. En la sección Alcance del Trabajo (más adelante), deberás especificar la forma en que el consultor debe interactuar con el equipo/consultor de diseño para integrar los hallazgos.
 - Ofrece un Resumen general sobre consideraciones regionales, incluido el cambio climático. Describe consideraciones regionales que pueden ser útiles para que el consultor entienda mejor la exposición y/o vulnerabilidad del proyecto. Aquí puedes incluir:
 - Una breve descripción de las vulnerabilidades al cambio climático identificadas/ percibidas. Puedes incluir entendimiento situacional de los riesgos relacionados al cambio climático (directos e indirectos) para la ubicación geográfica, el sector o el área institucional del/de los proyecto/s.
 - Identifica actividades recientes o proyectadas que es crítico considerar. Esto puede incluir consideraciones de tendencias demográficas (incluido el crecimiento y la planificación urbana), tendencias económicas y de mercado más amplias, tendencias institucionales o de gobernanza o actividades de otros donantes.

- Describe los arreglos institucionales del beneficiario del proyecto y cualquier otro marco de gestión u organizativo que puede ser útil para que el consultor entienda mejor la capacidad de adaptación del proyecto. Si existen cuestiones o desafíos conocidos en términos de capacidades, descríbelos aquí.
- Identifica otra información y actividades relevantes. Ofrece una descripción general de estudios existentes o planificados que pueden ser útiles para el consultor. Considera:
 - Otros estudios y actividades que pueden brindar información útil. Se existen estudios, modelos o datos producidos, descríbelos aquí.)

2. Objetivos

- 2.1. El propósito general de esta consultoría es desarrollar una Evaluación de Riesgo de Desastres y Cambio Climático (ERD) y un Plan de Gestión de Riesgo de Desastres y Cambio Climático (PGRD) asociado para el proyecto [nombre del proyecto], a fin de dotarlo de resiliencia y mejorar o aumentar su sostenibilidad.

3. Alcance de los servicios

- 3.1 Se espera que la ERD vaya más allá de una revisión genérica de la literatura sobre todos los riesgos posibles. En efecto, deberá enfocarse en las cuestiones específicas del proyecto identificadas como relevantes para esta evaluación de riesgo, que se especifican a continuación, y utilizar métodos aceptados o estándar para realizar un análisis [cualitativo y/o cuantitativo]. El riesgo de desastres y cambio climático debe evaluarse para las amenazas [sísmica, volcánica, por deslizamiento de tierra, tsunami, viento huracanado, marea de tormenta, inundación pluvial y fluvial, inundación costera, aumento del nivel del mar y/u ola de calor] en la zona de estudio de [ubicación] y específicamente con respecto a los siguientes componentes o aspectos de la operación: [componentes/aspectos].
- 3.2 El análisis debe ofrecer una medida [cualitativa y/o cuantitativa] de las condiciones de riesgo de línea de base, como así también de las alternativas de diseño u operación propuestas (es decir, en una primera instancia para las condiciones existentes sin la operación y en una segunda instancia para las condiciones nuevas generadas una vez que la operación esté implementada), con respecto a (i) la operación en sí y (ii) la zona y comunidades aledañas a la operación. Para realizar estas evaluaciones, la consultoría deberá evaluar [cualitativamente y/o cuantitativamente] las condiciones de la amenaza en términos de extensión espacial, intensidad y frecuencia de ocurrencia (con respecto a las amenazas ya mencionadas), la vulnerabilidad física del proyecto y de las comunidades aledañas a estas amenazas en términos de su comportamiento/respuesta esperada ante la situación de verse afectados, y los niveles esperados de daño, pérdidas y efectos negativos que sufriría la población, los ecosistemas y la infraestructura de la operación y de las comunidades aledañas.

Es importante destacar que al evaluar el riesgo para las comunidades aledañas, se debe tener especial cuidado en identificar (i) el riesgo marginal y (ii) los impactos adicionales sobre dichas comunidades como resultado de la implementación de la operación. Al hacerlo, se debe tener en cuenta la diferencia entre riesgo e impactos. El riesgo se refiere al resultado final de combinar la magnitud de una consecuencia con su frecuencia de ocurrencia, mientras que los impactos se refieren a las consecuencias individuales e independientes de la frecuencia. Por lo tanto, puede haber casos en que la implementación

de una operación genere impactos nuevos o adicionales sobre su entorno que no ocurrirían sin el proyecto, pero que en conjunto reduzca el riesgo. Por lo tanto, el riesgo marginal se refiere a identificar cómo el riesgo (incluidos tanto los sucesos recurrentes pequeños como los sucesos infrecuentes grandes) modifica el entorno con respecto a la situación sin la operación, asegurándose de que la operación no exacerbe el riesgo para su entorno. Sumado a esto, los nuevos impactos generados también deben ser identificados y evaluados.

- 3.3 Con base en un análisis minucioso de estos resultados, la consultoría debe ofrecer recomendaciones y lineamientos de diseño/gestión dirigidos a reducir o gestionar el riesgo de desastres tanto para la operación como para la zona aledaña, como así también un plan de gestión para los impactos identificados sobre las comunidades y población aledañas.

4. Actividades clave

4.1. [Realiza una evaluación de riesgo **cualitativa**.

4.1.1. Recopila información.

Recopila todos los datos valiosos sobre estudios, documentos y consideraciones que el proyecto ya pueda tener, para documentar cómo y en qué medida ya se han incorporado a los diseños del proyecto y en general al área de estudio medidas de gestión de riesgo de desastres y cambio climático, e identifica brechas.

4.1.2. Realiza una evaluación cualitativa completa del riesgo.

Esto puede realizarse mediante un taller en el que trabajen expertos en riesgo de desastres y cambio climático con personal técnico de las firmas a cargo del diseño/de la construcción y la agencia ejecutora de la operación para analizar y dimensionar todos los riesgos posibles, factores agravantes, posibles consecuencias y medidas de intervención. Otras técnicas cualitativas incluyen aplicar formalmente el método Delphi de consulta de opinión de expertos o utilizar matrices de riesgo. Se debe indicar si es posible caracterizar y estimar el orden de magnitud de posibles impactos sociales, económicos y ambientales que no serían posibles sin la existencia del proyecto.

4.1.3. Elabora un Plan de Gestión de Riesgo de Desastres y Cambio Climático.

Utilizando los resultados de la actividad previa, desarrolla un plan de gestión para las características de la operación que se considera que no condicionan la viabilidad técnica y/o económica del proyecto. Por otra parte, si se identifica que características específicas de la operación condicionan la viabilidad del proyecto, se las debe evaluar cuantitativamente.]

4.2 Realiza una evaluación de riesgo cuantitativa.

- 4.2.1. Realiza una evaluación probabilista de riesgo de [insertar amenaza/s] de línea de base (condiciones actuales, antes de la intervención) para (a) la operación y (b) las comunidades de [nombre de las comunidades] situadas en la zona de influencia.

[Solo para amenazas hidrometeorológicas: para cada uno de estos análisis, se debe considerar dos configuraciones del modelo de riesgo, una sin considerar el cambio climático y la otra considerándolo]. Esta actividad incluye las siguientes actividades específicas:

- 4.2.1.1 Evaluación de amenazas: evalúa probabilísticamente la amenaza [insertar amenaza/s] en términos de extensión espacial, intensidad y probabilidad de ocurrencia. [Solo para amenazas hidrometeorológicas: Es necesario considerar las amenazas según dos condiciones, es decir, considerando el cambio climático y sin considerarlo].
- 4.2.1.2. Evaluación de exposición: crea una base de datos georreferenciada actualizada de todos los activos físicos (infraestructura y edificios) y activos sociales (población) que son parte de (i) la operación en sí, si ya existe algo e incluye múltiples activos distribuidos espacialmente, y (ii) la zona de influencia aledaña (comunidades o asentamientos cercanos).
- 4.2.1.3. Evaluación de vulnerabilidad: evalúa probabilísticamente las condiciones de vulnerabilidad de (i) el proyecto en sí (si ya existe algo) y (ii) activos y poblaciones circundantes.
- 4.2.1.4. Evaluación de riesgo: evalúa probabilísticamente el riesgo resultante de la combinación de amenaza, exposición y vulnerabilidad evaluada antes. [Solo para amenazas hidrometeorológicas: este cálculo debe realizarse dos veces, utilizando el modelo de amenazas sin considerar el cambio climático y considerándolo].
- 4.2.2. Realiza una Evaluación probabilista de riesgo de [inserta la/s amenaza/s] incluyendo la operación y alternativas propuestas.

Con base en los resultados obtenidos en la actividad 4.2.1, introduce el proyecto propuesto, junto con las medidas de reducción/mitigación de riesgo o medidas de intervención o las alternativas de diseño, y realiza una segunda evaluación probabilista de riesgo de [inserta la/s amenaza/s] utilizando los mismos métodos y condiciones que en la actividad 4.2.1, ahora introduciendo estas intervenciones. Esta actividad incluye las siguientes actividades específicas:

- 4.2.2.1. Propone medidas de reducción de riesgo: con base en las evaluaciones de riesgo de la actividad 4.2, ofrece lineamientos y estrategias de diseño estructurales (construcción física o técnicas de ingeniería o tecnología) y/o no estructurales (políticas, leyes, capacitación o formación) para reducir y gestionar el riesgo de [insertar amenaza/s] en la zona y aumentar su capacidad de adaptación.
- 4.2.2.2. Realiza una segunda evaluación probabilista de riesgo de [inserta amenaza/s]: para ello, deben realizarse modificaciones a las evaluaciones de la amenaza, exposición o vulnerabilidad, si corresponde, en respuesta a los cambios que puede causar la introducción de la operación y medidas de intervención.

Los resultados de esta nueva evaluación deben expresarse mediante las pérdidas económicas estimadas, y éstas deben compararse entre sí, pero, fundamentalmente, con los resultados de la actividad 4.2.1, analizando las diferencias de pérdidas entre las condiciones de línea de base y las condiciones

posteriores a la implementación de la operación. También deben desarrollarse mapas de amenazas y de riesgo y compararse con los mapas de la actividad 4.2.1.

4.2.3. Elabora un Plan de Gestión de Riesgo de Desastres y Cambio Climático.

Utilizando los resultados de las actividades anteriores, elabora un plan de gestión de riesgos que considere medidas adicionales para reducir aún más el riesgo y controlar los impactos esperados.

5. Resultado esperado y entregables

5.1. Informe 1: plan de trabajo y metodología de estudio detallada

5.2. [Informe 2: diagnóstico de riesgo y datos y resultados de la evaluación de riesgo **cualitativa** (actividad 4.1.1 y 4.1.2)]

5.3. [Informe 3: plan de gestión de riesgo de desastres y cambio climático de la evaluación de riesgo **cualitativa** (actividad 4.1.3)]

5.4. Informe 4: resultados de la evaluación de amenazas **cuantitativa de línea de base** (actividad 4.2.1.1)

5.5. Informe 5: resultados de la evaluación **cuantitativa de línea de base** de exposición, vulnerabilidad y riesgo (actividad 4.2.1.2 - 4.2.1.4)

5.6. Informe 6: diseño de la operación y medidas de reducción de riesgo y de intervención (actividad 4.2.2.1)

5.7. Informe 7: resultados de la evaluación de riesgo **cuantitativa** incluyendo la operación y medidas de intervención (actividad 4.2.2.2)

5.8. Informe 8: plan de gestión de riesgo de desastres y cambio climático de la evaluación de riesgo **cuantitativa** (actividad 4.2.3)

6. Cronograma e hitos del proyecto

6.1. El Informe 1 debe presentarse dentro de los 10 días calendario posteriores a la firma del contrato.

6.2. El Informe 2 debe presentarse dentro de los 40 días calendario posteriores a la firma del contrato.

6.3. El Informe 3 debe presentarse dentro de los 50 días calendario posteriores a la firma del contrato.

6.4. El Informe 4 debe presentarse dentro de los 110 días calendario posteriores a la firma del contrato.

6.5. El Informe 5 debe presentarse dentro de los 150 días calendario posteriores a la firma del contrato.

6.6. El Informe 6 debe presentarse dentro de los 170 días calendario posteriores a la firma del contrato.

6.7. El Informe 7 debe presentarse dentro de los 220 días calendario posteriores a la firma del contrato.

6.8. El Informe 8 debe presentarse dentro de los 240 días calendario posteriores a la firma del contrato.

7. Requisitos para la elaboración de informes

- 7.1. Todos los informes deben entregarse del siguiente modo: i) los correspondientes archivos electrónicos en MS Word, Excel u otra aplicación (con todos sus anexos y apéndices); ii) un archivo electrónico PDF para cada informe completo. Estos informes y archivos electrónicos deben entregarse dentro de los plazos mencionados anteriormente.
- 7.2. Presentar copias de trabajo verificadas de todos los archivos de mapas digitales (.shp, .tiff, .grd, .gdb, .mxd, etc.), modelos, bases de datos y otros archivos creados durante la consultoría.
- 7.3. Además, los hallazgos principales de la consultoría deben resumirse en una presentación en MS PowerPoint.

8. Criterios aceptables

- 8.1. (Describe los requerimientos de aceptación específicos: establece responsabilidades con respecto a la responsabilidad técnica y aprobación de productos.)

9. Otros requerimientos

- 9.1. La firma de consultoría debe seguir la metodología detallada a continuación para desarrollar la actividad 4.2.

Metodología de evaluación probabilista de riesgo de [amenaza/s]: el objetivo de una evaluación probabilista de riesgo es estimar las pérdidas (económicas o humanas) que en promedio puede esperarse que ocurran con cierta recurrencia temporal en un determinado conjunto de activos o población que están expuestos a una o más amenazas naturales. Un estudio de este tipo consta de cuatro módulos: módulo de amenazas, módulo de exposición, módulo de vulnerabilidad y módulo de riesgo. A continuación se explica cada uno.

Módulo de amenazas: el módulo de amenazas de una evaluación de riesgo probabilista consiste en una serie de eventos estocásticos que en conjunto representan el universo completo de posibilidades de [amenaza/s] en el área estudiada. Cada uno de estos eventos debe contener la distribución espacial de la medida de intensidad seleccionada para el análisis ([intensidad de la amenaza] en este caso) y una frecuencia de ocurrencia asociada, para poder desarrollar una distribución de probabilidades para la medida de intensidad seleccionada.

[Inserta el método específico de modelado probabilista acorde a la amenaza específica].

[Solo para amenazas hidrometeorológicas: Se debe incluir el cambio climático, utilizando proyecciones sobre el clima futuro para condiciones similares a las de los escenarios del Panel intergubernamental de expertos sobre el cambio climático (IPCC, por sus siglas en inglés). Se debe utilizar proyecciones de modelos climáticos regionales (si es posible) y aplicar técnicas de downscaling si es necesario. Las proyecciones resultantes deben utilizarse directamente para alterar o modificar los análisis históricos y el posterior proceso de generación de eventos estocásticos. Para ello, se recomienda utilizar modelos generadores de tiempo meteorológico como el modelo no paramétrico denominado K-vecino más cercano¹ (Simonovic y Peck, 2009), SDSM² (Wilby y Dawson, s.f.) o similar.]

1 <https://ir.lib.uwo.ca/cgi/viewcontent.cgi?referer=https://www.google.com/&httpsredir=1&article=1027&context=wrrr>

2 <http://www.lboro.ac.uk/departments/sspgs/social-impact/climate-adaptation/>

Módulo de exposición: el módulo de exposición de una evaluación de riesgo probabilista consiste en una base de datos georreferenciada que incluye todos los activos físicos, como así también la población, que pueden verse afectados por la amenaza natural. El módulo de amenazas (antes detallado) afectará el contenido de este módulo. Este módulo debe caracterizar adecuadamente los activos, almacenando atributos como sus condiciones físicas, tipos constructivos y materiales, cantidad de pisos, sector de uso, valor económico y otros que puedan ser necesarios para conectarse con el módulo de vulnerabilidad.

Módulo de vulnerabilidad: el módulo de vulnerabilidad de una evaluación probabilista de riesgo consiste en una serie de curvas de vulnerabilidad probabilistas que muestran el comportamiento esperado de un activo sometido a una amenaza determinada. Estas curvas relacionan la intensidad de la amenaza con un nivel de daño, típicamente expresado como un porcentaje del valor del activo que se pierde. Para crear estas funciones para activos individuales que deben estudiarse en detalle, se debe desarrollar modelos de ingeniería adecuados y específicos para la estructura en cuestión; [\[inserta el método de modelado específico acorde a la amenaza específica\]](#). Por otra parte, con respecto a las comunidades aledañas, que pueden incluir numerosos activos, la base de datos de exposición debe clasificarse de acuerdo a tipologías estructurales generales (agrupaciones) y se puede utilizar funciones de vulnerabilidad existentes.

Módulo de riesgo: el módulo de riesgo de una evaluación probabilista de riesgo combina los módulos de amenazas, exposición y vulnerabilidad y computa las pérdidas de forma probabilista. El objetivo de una evaluación probabilista de riesgo es obtener el universo completo de posibles pérdidas y su probabilidad o frecuencia de ocurrencia. La secuencia del cálculo de riesgo es la siguiente: para cada escenario de amenaza, la distribución de probabilidades de la pérdida se computa para cada activo expuesto, luego se computa la probabilidad de que la pérdida para este escenario exceda cierto valor, luego se la multiplica por la frecuencia anual de ocurrencia del escenario y, por último, se computa la contribución de todos los escenarios.

Los resultados de riesgo se suelen presentar en lo que se llama curva de excedencia de pérdidas (CEP), que contiene toda la información necesaria sobre pérdidas. A partir de la CEP se pueden extraer un par de métricas que suelen utilizarse para expresar el riesgo: la pérdida anual promedio (PAP), la pérdida máxima probable (PMP) y las probabilidades de exceder ciertas pérdidas en plazos específicos. Se puede crear mapas de riesgo que ilustren la distribución geográfica de todas las PAP tanto en términos absolutos (pérdidas económicas) como relativos (como un porcentaje del valor de los activos expuestos), para identificar visualmente zonas con mayor o menor riesgo.

- 9.2. La firma de consultoría debe tener experiencia en evaluaciones de riesgo de desastres, [\[solo para amenazas hidrometeorológicas: modelado climático, evaluaciones de vulnerabilidad al cambio climático\]](#), modelado de [\[amenaza\]](#) y análisis estadístico. Que el equipo tenga un integrante local es una ventaja. Al menos un integrante del equipo debe tener conocimiento práctico demostrado de la zona de intervención. Si bien no hay un número preestablecido de especialistas que deben integrar el equipo consultor, en conjunto deben reunir como mínimo la siguiente experiencia:

- Líder del proyecto: Como mínimo 15 años de experiencia profesional demostrada como líder de grupos multidisciplinarios para la elaboración de evaluaciones de riesgo de desastres, [\[solo para amenazas hidrometeorológicas: riesgos climáticos\]](#)

y cambio climático]. Maestría en gestión de proyectos, ingeniería, administración, economía, finanzas o disciplina relacionada.

- Especialista en riesgo de desastres: Como mínimo 10 años de experiencia profesional demostrada en la elaboración de análisis de riesgo de desastres, [solo para amenazas hidrometeorológicas: trabajando específicamente con riesgos relacionados con el clima y cambio climático]. Experiencia comprobada en el desarrollo de modelos de [amenaza] y la realización de análisis probabilistas de riesgo de [amenaza]. Dominio comprobado de metodologías probabilistas de riesgo de desastres y plataformas de modelado como CAPRA, HAZUS o similar. Título profesional (preferentemente Maestría) en ingeniería civil o ambiental, geografía o similar.
- [Solo para amenazas hidrometeorológicas: Modelador de clima: Profesional universitario con título de Maestría en ingeniería civil o ambiental, ciencias atmosféricas o climáticas o disciplina relacionada.
- Modelador de [amenaza]: Profesional con título de Maestría en ingeniería o similar y al menos 5 años de experiencia demostrada en modelación de [amenaza]. [Insertar requerimientos relacionado con la/s amenaza/s específica/s].
- Especialista local: Profesional universitario con un mínimo de 10 años de experiencia laboral comprobada en la zona de intervención.

10. Supervisión y responsabilidades

10.1. (Describe los requerimientos específicos: establece responsabilidades con respecto a la responsabilidad técnica y aprobación de productos.)

11. Cronograma de pagos

11.1. (Describe el cronograma de pagos según los productos.)

Apéndice J: Gestión del riesgo de desastres en operaciones de obras múltiples

Durante la fase de identificación

FASE 1

Paso 1: Screening

- Clasifica cada proyecto incluido en la muestra utilizando las preguntas acerca del riesgo de desastres y cambio climático del toolkit.
- Utilización de mapas: Idealmente, si ya tienes información sobre los proyectos incluidos en la muestra y está georreferenciada, utilízala para el screening.
- Toma la clasificación más alta de los proyectos incluidos en la muestra para asignar una clasificación a toda la operación. (La clasificación de todo el proyecto se basa en la clasificación más alta de la muestra de proyectos, como la clasificación ambiental y social).

Paso 2: Criticidad

- Revisa la clasificación inicial realizada con el toolkit para los proyectos incluidos en la muestra, analizando su vulnerabilidad y criticidad.
- Si en esta instancia hay más información técnica de cada proyecto de la muestra (alcance del proyecto, escala y diseño) y cualquier aspecto de la clasificación necesita evaluarse nuevamente, utiliza esa información adicional.
- En el caso de numerosas infraestructuras individuales independientes, evalúa la criticidad y vulnerabilidad de cada una. En el caso de un sistema o una red¹, evalúa su criticidad y la redundancia del sistema y a cuántas personas atiende el sistema. Consulta el Paso 2 de la Metodología para obtener más información sobre cómo evaluar infraestructuras o sistemas individuales.

Durante la preparación de la POD

FASE 2

Paso 3: La narrativa del riesgo

- En el caso de obras múltiples, la narrativa debe incluir una explicación de porqué la operación en su conjunto ha recibido esa clasificación específica. La narrativa del riesgo para obras múltiples debe basarse en la evaluación realizada para la muestra de proyectos. La narrativa del riesgo debe brindar detalles sobre los proyectos incluidos en la muestra que determinan toda la clasificación de la operación. Justifica porqué un proyecto fue clasificado como de riesgo alto o moderado y brinda detalles sobre cuáles de los proyectos descritos deberán someterse a una ERD (o equivalente) y tener un PGRD con respecto a qué amenaza específica.

¹ Los sistemas incluyen infraestructura que involucra conectividad, como líneas de transmisión o distribución, redes de agua potable o de saneamiento, etc.

- Además, la narrativa del riesgo debe contener un marco con directrices sobre cómo el programa tratará el resto de los proyectos no incluidos en la muestra, que típicamente incluirá un Marco de Gestión de Riesgo de Desastres para dichos proyectos².
- Dependiendo de su clasificación, algunos de los proyectos incluidos en la muestra pueden tener que completar el Paso 4, evaluación cualitativa (o análisis de modos de falla), o incluso el Paso 5, análisis de riesgo cuantitativo. La narrativa del riesgo para obras múltiples debe determinar qué proyectos de la muestra deben ir más allá y pasar al Paso 4 y/o al Paso 5.
- Si la operación en su conjunto fue clasificada como de alto riesgo de desastres de acuerdo a la categorización de los proyectos incluidos en la muestra³, significa que el programa de obras múltiples en su conjunto permitiría incluir otros proyectos con alto riesgo de desastres.

Marco de Gestión de Riesgo de Desastres

- El Marco de Gestión de Riesgo de Desastres debe establecer las reglas de la clasificación de riesgo (incluidos los criterios de exclusión, en términos de riesgo de desastres), evaluar la necesidad de una evaluación de riesgo y medidas de mitigación, siguiendo la Metodología. Puede incluirse como parte del Marco de Gestión Ambiental y Social (MGAS)⁴ o en el Manual Operativo del Programa.

FASE 3

Paso 4: Taller sobre análisis de fallas

- El Paso 3 debe determinar qué proyectos deben avanzar al Paso 4, que consiste en un taller con expertos locales y técnicos para identificar fallas, sus causas y soluciones, y formular un plan de medidas estructurales para reducir los riesgos.
- Si corresponde realizar el taller, deben participar la agencia ejecutora, el equipo de ingenieros y el experto en riesgo de desastres y/o riesgos climáticos. No obstante, en las operaciones de obras múltiples es esencial que participen en el taller la municipalidad y los organismos locales correspondientes involucrados en el proyecto que necesiten el taller, como así también la comunidad.

Paso 5: Análisis cuantitativo detallado

- El Paso 5 se aplica a los proyectos de la muestra para los que se determinó que es necesario realizar un análisis cuantitativo.
- Si algunos de los proyectos de la muestra ya incluyen un análisis cuantitativo detallado, entonces otros proyectos que no son parte de la muestra y lo requieren, pueden completarlo. Es importante tener esto en cuenta al diseñar el Marco de Gestión de Riesgo de Desastres.

² En general, el 70% restante de los proyectos (en el caso de operaciones de obras múltiples, la muestra debe incluir el 30% de los proyectos).

³ Esto sigue la misma lógica que la clasificación ambiental y social.

⁴ El Marco de Gestión Ambiental y Social es el instrumento necesario para gestionar aspectos ambientales, sociales, de salud y seguridad en operaciones de obras múltiples.

Estructura mínima del Marco de Gestión de Riesgo de Desastres

1. Alcance de los proyectos que serán financiados por la operación.
2. Marco legal y regulatorio correspondiente relacionado con el riesgo de desastres: incluidos códigos de construcción y otras normas que rigen para el sector o la industria.
3. Criterios de elegibilidad (incluidos criterios de exclusión).
4. Valoración del proyecto:
 - Clasificación del proyecto
 - Estudios de evaluación de riesgo necesarios, de acuerdo con la clasificación asignada al proyecto.
 - Análisis, evaluación y aprobación
5. Anexos.
6. Términos de referencia para la realización de la Evaluación de Riesgo de Desastres (ERD) y del Plan de Gestión de Riesgo de Desastres (PGRD) para proyectos de riesgo moderado, o también proyectos de riesgo alto (incluido un análisis cuantitativo detallado). Seguir los ejemplos de Términos de Referencia incluidos en la Metodología.

Apéndice K: Ejemplos de infraestructura verde para drenaje

Estanques húmedos



También denominados estanques de aguas pluviales, estanques de retención y estanques húmedos de detención extendidos, los estanques húmedos son cuencas construidas que tienen una hoya de agua permanente durante todo el año (o al menos durante la temporada húmeda) y se diferencian de los humedales construidos principalmente por tener una profundidad promedio mayor. El mecanismo de depuración principal es la decantación, dado que la escorrentía de aguas pluviales reside en este estanque. En cierta medida también ocurre una absorción limitada de contaminantes, particularmente nutrientes, mediante la actividad biológica en el estanque.

Cuencas secas de detención extendidas



También denominadas estanques secos, estanques de detención secos y estanques secos de detención extendidos, las cuencas secas de detención extendidas son cuencas cuyas tomas han sido diseñadas para detener la escorrentía de aguas pluviales de una tormenta de diseño con un volumen equivalente al 90% de la escorrentía anual media durante un tiempo mínimo (en general 48 horas) para permitir que decanten las partículas, los residuos y los contaminantes asociados. A diferencia de los estanques húmedos, estas instalaciones no tienen una gran hoya de agua permanente. También se las puede utilizar para control de inundaciones dotándolas de almace-

namiento adicional para detención de inundaciones. El objetivo principal de la mayoría de las cuencas de detención es el control de inundaciones pero también funcionan bien para remover contaminantes. Su desempeño en este aspecto puede variar dependiendo de su diseño. Por ejemplo, las cuencas de detención con vegetación ofrecen una mejor remoción de contaminantes si se las compara con las de concreto. Puede incorporarse una micro hoya optativa en la salida de la cuenca para aumentar el rendimiento de los contaminantes solubles.

Humedales contruidos para el tratamiento de aguas pluviales



Los humedales contruidos para el tratamiento de aguas pluviales son ecosistemas de aguas someras diseñados para tratar la escorrentía de aguas pluviales. Comúnmente implementados en zonas bajas, los humedales para tratamiento de aguas pluviales son adecuados en zonas situadas a lo largo de corredores fluviales donde los niveles freáticos son más elevados. Los sedimentos y los nutrientes son reducidos de forma eficiente por estos humedales mediante sedimentación, conversiones químicas y biológicas y absorción por parte de las especies vegetales. Los humedales controlan la inundación al-

macenando agua y liberándola lentamente durante 2 a 5 días. Además de tratar las aguas pluviales, los humedales ofrecen un hábitat excelente a plantas y animales silvestres y a menudo se los puede diseñar como lugares de esparcimiento público.

Análogamente a lo que ocurre con los humedales naturales, se logra mejorar la calidad del agua mediante procesos físico-químicos y biológicos ya que el agua es almacenada de forma temporal. Los procesos unitarios específicos incluyen sedimentación, desnitrificación y absorción. En consecuencia, la trayectoria del flujo a través del humedal debe ser maximizada para aumentar el tiempo de residencia y contacto con la vegetación, el suelo y los microbios. Se han informado eficiencias en remoción de sedimentos muy altas en humedales para tratamiento de aguas pluviales bien dimensionados (50 a 80% de reducción), con concentraciones de efluentes promedio cercanas a 9 miligramos (mg) por litro (l) (Hathaway y Hunt 2010; Geosyntec Consultants, Inc. y Wright Water Engineers, Inc. 2012). Además, se cree que los metales aglomerados en partículas se reducen a medida que los sedimentos caen fuera de suspensión y es previsible una reducción significativa del cobre total, cadmio total, plomo total y zinc total (si bien los metales pueden disociarse de los sedimentos y de la materia orgánica en una solución en condiciones anaeróbicas; Newman y Pietro 2001; Geosyntec Consultants, Inc. y Wright Water Engineers, Inc. 2012).

Áreas de biorretención



Las áreas de biorretención son depresiones parquizadas con poca profundidad que capturan y almacenan temporalmente escorrentía de aguas pluviales. La escorrentía es dirigida al área de biorretención y luego filtrada mediante los medios del suelo (en general de ingeniería). Las áreas de biorretención suelen constar de un sistema de tratamiento, un área de almacenamiento en la superficie y un medio de suelo para plantación. En el área deprimida se planta vegetación de tamaño pequeño a mediano, como árboles, arbustos y cobertura terrestre resistente a entornos urbanos y tolerante a inundaciones periódicas y periodos secos. Las plantaciones

también sirven de hábitat a polinizadores beneficiosos y ofrecen beneficios estéticos a las partes interesadas. También se las puede adaptar para atraer mariposas o determinadas especies de aves. Las áreas de almacenamiento pueden diseñarse para aumentar la capacidad de retención de flujo y control de inundación.

Pavimento permeable



El pavimento permeable es una superficie pavimentada duradera y resistente con pequeños vacíos o juntas rellenas con un agregado que permiten que el agua drene hasta la capa de reserva hecha de agregado. El agua pluvial almacenada en la capa de reserva puede luego infiltrarse hacia los suelos que están debajo o drenar a un ritmo controlado a través de drenes inferiores a otros sistemas de control de aguas pluviales corriente abajo. El pavimento permeable permite que las calles, los aparcamientos, las aceras y otras coberturas impermeables mantengan la capacidad de infiltración de los suelos junto con las características funcionales y estructurales de los materiales que reemplazan.

Los sistemas de pavimento permeable pueden diseñarse para funcionar como retención subterránea si los suelos nativos no tienen suficiente capacidad de infiltración o si la infiltración está impedida por la

protección de acuíferos, puntos calientes o estructuras adyacentes. El pavimento permeable puede desarrollarse utilizando sistemas de pavimento modular (por ej., adoquines de hormigón encastrables permeables o sistemas de malla plástica) o soluciones que impliquen vaciado en el lugar (por ej., hormigón permeable o asfalto poroso). Algunos sistemas de hormigón permeable también pueden premoldearse. En numerosos casos, en especial cuando se cuenta con espacio limitado, el pavimento permeable es una solución eficaz en términos de costos con relación a otras prácticas por oficiar como infraestructura de transporte y a la vez constituir una mejor práctica de gestión de aguas pluviales.

Cisternas y barriles de lluvia



Las cisternas y los barriles de lluvia son contenedores que capturan la escorrentía de los techos y la almacenan para riego de parques y otros usos que no requieren de agua potable. Con control de tiempo y volumen, el agua de lluvia recogida puede liberarse de forma más eficaz para riego y usos alternativos como agua gris entre eventos de tormenta. Los barriles de lluvia tienden a ser sistemas más pequeños que dirigen la escorrentía a través de un tubo de bajada hasta un barril con capacidad inferior a 100 galones. Las cisternas son sistemas más grandes que pueden estar situados sobre la tierra o bajo tierra, suelen tener una capacidad superior a 100 galones y pueden conducir el agua desde uno o

más tubos de bajada. Los sistemas bajo tierra suelen requerir de una bomba de agua.

Las cisternas y los barriles de lluvia principalmente posibilitan el control del volumen del agua pluvial; sin embargo, es posible lograr mejoras en la calidad del agua cuando se los combina con otras prácticas adecuadas de gestión de aguas pluviales, tales como áreas de biorretención. Las cisternas o los barriles de lluvia pueden controlarse mediante salidas permanentemente abiertas o válvulas operables, dependiendo de las especificaciones del proyecto. Las cisternas y los barriles de lluvia pueden ser un método útil para reducir los volúmenes de escorrentía de aguas pluviales en zonas urbanas donde las limitaciones del lugar restringen la implementación de otras prácticas adecuadas de gestión de aguas pluviales.

Cubiertas verdes o techos jardín



Las cubiertas verdes y los techos jardín reducen el volumen y las velocidades de escorrentía debido a que interceptan el agua de lluvia en una capa con un medio de cultivo situada en el techo. El agua de lluvia es recogida en el techo, luego regresa a la atmósfera mediante evaporación o transpiración por las plantas. El agua de lluvia que excede la capacidad del medio de cultivo es retenida en una capa de drenaje antes de fluir hacia los drenajes del techo y a los tubos de bajada. Las cubiertas verdes son muy eficaces para reducir o eliminar la escorrentía de techos en eventos pequeños o medianos. Pueden incorporarse a nuevas construcciones o agregarse a

edificaciones existentes durante renovaciones o al reemplazar techos.

Además de reducir el volumen de agua pluvial, las cubiertas verdes ofrecen una serie de beneficios que incluyen una mayor vida útil del techo (debido a que proporcionan mayor sellado, revestimiento y aislamiento), mejor aislamiento y uso energético del edificio, reducción de efectos de isla de calor urbana, oportunidades de recreación y de práctica de jardinería en los techos, atenuación de ruidos, mejora de

la calidad del aire, hábitat para aves e insectos y estética (Tolderlund 2010; Berndtsson 2010; Getter y Rowe 2006). Las cubiertas verdes pueden diseñarse como sistemas extensivos de medios planos o como sistemas intensivos de medios profundos, dependiendo de los objetivos del diseño, de la capacidad estructural de la cubierta y de la disponibilidad de fondos.

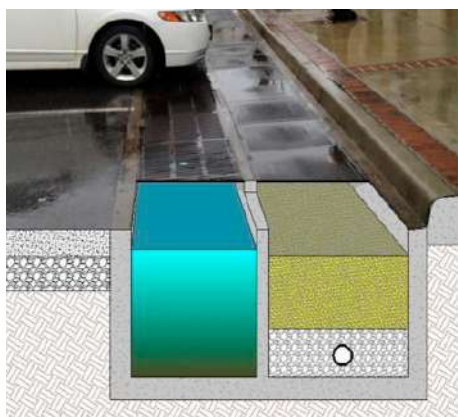
Filtro en alcorque



Un filtro en alcorque es una caja de hormigón que contiene un medio de suelo poroso y vegetación que funciona de forma similar a una pequeña área de biorretención, pero se encuentra totalmente recubierta, tiene un dren inferior y uno o más árboles. La escorrentía es dirigida desde las superficies impermeables adyacentes hacia el filtro del alcorque donde se infiltra a través del medio de suelo hasta la tierra subyacente. Si la escorrentía supera la capacidad de diseño del filtro del alcorque, el dren inferior dirige el excedente a un drenaje pluvial u otro dispositivo.

Los filtros en alcorques han sido implementados en calles pavimentadas, aparcaderos y edificios para ofrecer detención inicial de agua pluvial y tratamiento de escorrentía. Dichas aplicaciones proporcionan una oportunidad ideal para minimizar las zonas impermeables directamente conectadas en zonas altamente urbanizadas. Además de beneficios en términos de gestión de aguas pluviales, los filtros en alcorques ofrecen opciones de tratamiento del agua pluvial en el lugar, espacio verde y estética natural en entornos urbanos muy confinados. Los filtros en alcorques son ideales para redesarrollo o en el entorno ultra urbano y pueden utilizarse como dispositivos de pretratamiento.

Filtro de arena



Un filtro de arena es un sistema de tratamiento que se utiliza para remover partículas y sólidos de la escorrentía de agua pluvial debido a que facilita la filtración física. El flujo pasa a través del sistema, que está diseñado para mejorar la calidad del agua de las zonas de drenaje impermeables mediante filtrado lento de la escorrentía a través de cámaras de sedimentación y filtración. Con un tiempo de detención mayor, la cámara de sedimentación permite que las partículas de mayor tamaño se asienten. La cámara de filtración remueve contaminantes y mejora la calidad del agua al colarla a través de una capa de arena. El efluente tratado es recogido por tubos de drenaje inferiores y descargado en el sistema de recolección de agua pluvial existente u otra práctica adecuada de gestión de aguas pluviales. Los filtros de arena pueden utilizarse en zonas con bajos índices de filtración del suelo, en

lugares donde la infiltración se limita con el objetivo de proteger el agua subterránea o en zonas con altas cargas de contaminantes.

Cunetas verdes



Las cunetas verdes son canales abiertos poco profundos con vegetación diseñados para ofrecer transporte de agua no erosivo con tiempo de residencia hidráulica más extenso que los cordones y alcantarillas tradicionales. Las cunetas verdes ofrecen una limitada remoción de contaminantes mediante sedimentación y separación por gravedad. Las cunetas verdes correctamente diseñadas son ideales cuando se las ubica de forma adyacente a vías o aparcamientos, donde la escorrentía procedente de las superficies impermeables puede ser conducida a la cuneta mediante flujo laminar. Las cunetas son eficaces para el pretratamiento de flujos concen-

trados antes de su descarga en una práctica de gestión de aguas pluviales situada corriente abajo.

