



MERCI^{CR}

METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DEL
RIESGO CLIMÁTICO PARA INFRAESTRUCTURA





TABLA DE
CONTENIDO

Preámbulo	6
Glosario	8
CAPÍTULO 1 DEFINICIÓN DE ELEMENTOS DEL ESTUDIO	14
1.1 Justificación y objetivos	14
1.1.1 Justificación	15
1.1.2 Objetivos	15
1.2 Alcance del estudio	15
1.2.1 Criterio para selección de infraestructura específica	15
1.2.2 Descripción	19
1.2.3 Antecedentes	19
1.2.4 Limitaciones	19
1.3 Equipo de trabajo	21
1.4. Infraestructura	23
1.4.1 Descripción general	23
1.4.2 Relevancia para el desarrollo del entorno inmediato (sociocultural, económica y ambiental)	23
1.4.3 Horizonte temporal	24
1.4.4 Componentes de la infraestructura	24
1.4.5. Consideraciones adicionales	25
1.5. Geografía de la zona	25
1.6 Consideraciones jurisdiccionales	28
1.7 Clima	28
1.7.1 Climatología del área de estudio	28
1.7.2 Parámetros climáticos	28
1.7.3 Umbrales	28
1.7.4 Supuestos de cambio climático: clima futuro	29
1.8 Análisis de robustez de la información	30
1.8.1 La calidad de los datos	30
1.8.2 Criterios de robustez	31
CAPÍTULO 2 ANÁLISIS DE RIESGOS	34
2.1 Identificación de la amenaza	35
2.1.1 Probabilidad histórica de parámetros climáticos (línea base del clima)	36
2.1.2. Probabilidad futura de parámetros climáticos (clima futuro)	36
2.1.3. Análisis de robustez de información de parámetros climáticos	36

2.2 Identificación de la exposición	36
2.3. Identificación de la vulnerabilidad	36
2.3.2. Escala de vulnerabilidad	37
2.3.3 Análisis de robustez de información de vulnerabilidad	38
2.4. Umbrales de tolerancia al riesgo	38
2.5. Cálculo de riesgo: amenaza, exposición y vulnerabilidad	40
CAPÍTULO 3 EVALUACIÓN DE RIESGOS Y MEDIDAS DE ADAPTACIÓN	42
3.1 Clasificación de riesgos	42
3.2 Evaluación de casos especiales	43
3.3 Reanálisis y depuración de interacciones	44
3.4. Perfil de riesgos	44
3.5 Adaptación basada en gestión del riesgo	46
3.5.1 Gestión del riesgo	46
3.5.2 Capacidad y medidas de adaptación	48
3.5.3 Perfil de adaptación	50
3.5.4 Monitoreo y seguimiento de las medidas de adaptación	51
CAPÍTULO 4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	53
4.1 Conclusiones	53
4.2 Recomendaciones	54
BIBLIOGRAFÍA	56
ANEXOS	58
Anexo 1 : Criterios de priorización y selección con pesos relativos para un puente	58
Anexo 2: Lista de componentes por tipo de infraestructura	60
Anexo 3: Análisis multiamenaza	68
Anexo 4: Lista de parámetros climáticos	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Habilidades e interacciones entre los miembros del equipo	22
Figura 2 Resumen de posibles decisiones por tomar frente a un riesgo	47
Figura 3 Escala de variación de las medidas de adaptación según el uso de los servicios ecosistémicos para responder a los impactos del cambio climático.	49
Figura 4 Relatividad entre eficacia y asequibilidad de soluciones de ingeniería, soluciones híbridas y soluciones basadas en la naturaleza.	50

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Criterios de Priorización y Selección con Pesos Relativos	17
Tabla 2 Ficha Técnica: Componente de infraestructura	25
Tabla 3 Ficha Técnica: Componente de infraestructura	26
Tabla 4 Ficha técnica: Exposición a otras amenazas	27
Tabla 5 Criterios de robustez propuestos para la medición del nivel de confianza de la información	32
Tabla 6 Clasificación de la robustez de los datos y de la información	33
Tabla 7 Puntajes según probabilidad de ocurrencia de parámetros climáticos	35
Tabla 8 Categorización cualitativa de los puntajes de vulnerabilidad	38
Tabla 9 Propuesta para mapa de calor	39
Tabla 10 Propuesta para umbrales de tolerancia del riesgo	39
Tabla 11 Propuesta para matriz de riesgo	40
Tabla 12 Clasificación de riesgos de acuerdo con su nivel	43
Tabla 13 Perfil general de riesgos	45
Tabla 14 Perfil de adaptación propuesto.	51

Preámbulo

En la lucha mundial contra los efectos del cambio climático, Costa Rica no se escapa de la necesidad de abordar acciones relacionadas con la adaptación y la resiliencia. Actualmente, se destina gran cantidad de recursos públicos y privados para mejorar la capacidad adaptativa con el fin de reducir la vulnerabilidad frente a esa variación.

La Contraloría General de la República (CGR, 2017), identificó en el cambio climático una tendencia que debe ser considerada por los gestores públicos en la administración oportuna de riesgos, de manera que permitan la orientación del diseño de la política pública y la previsión de erogaciones para atender, adaptarse o mitigar sus efectos. Para lograrlo, se requieren recursos financieros, tecnológicos y humanos.

En cumplimiento con los compromisos adquiridos con el Acuerdo de París, Costa Rica aprobó en diciembre del 2017 su primera Política Nacional de Adaptación al Cambio Climático (DE-41091-MINAE) oficializada en abril del 2018, y replanteó sus Contribuciones Nacionalmente Determinadas (NDC por sus siglas en inglés) en noviembre del 2020. Concretamente, la contribución 4.3 de la Política Nacional de Adaptación al Cambio Climático orienta el desarrollo de instrumentos que garantizan la protección de la infraestructura y la continuidad de los servicios públicos vitales ante eventos climáticos. Asegurar la ininterrupción de estos servicios requiere una experiencia multidisciplinaria con un abordaje integral, que permita trabajar la adaptación desde aristas diversas con el objetivo de lograr la resiliencia comunitaria que necesitan la sociedad y los ecosistemas. De ese modo, estos instrumentos de política pública pretenden dotar a la sociedad costarricense con las capacidades para resistir las consecuencias del cambio climático y disminuir los daños materiales.

Las situaciones del pasado que han causado sufrimiento en diferentes comunidades y han destruido activos públicos y privados, no tienen por qué repetirse. El fortalecimiento de las capacidades de adaptación, la resiliencia y la reducción de la vulnerabilidad al cambio climático, son necesidades que requieren ajustarse, tanto en el sector público como en el privado. Eso implica implementar disposiciones que sean medibles, verificables y reportables. Por este motivo, después de cuatro años de un trabajo interinstitucional con el apoyo y la asesoría del programa global Servicios Climáticos para las Inversiones Públicas (CSI por sus siglas en inglés), que ejecuta la *Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit* (GIZ) por encargo del Ministerio Federal Alemán para el Medio Ambiente, la Conservación de la Naturaleza y la Seguridad Nuclear (BMU por sus siglas en alemán), la Dirección de Cambio Climático del MINAE (DCC) junto con el Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica (CFIA), el Instituto Meteorológico Nacional (IMN), el Ministerio de Obras Públicas y Transporte (MOPT), y con el acompañamiento técnico de la Contraloría General de la República (CGR), el Consejo Nacional de Vialidad (CONAVI), la Comisión Nacional de Emergencias (CNE), la Universidad de Costa Rica (UCR), el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LANAMME, UCR), el Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR), el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) y el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AYA), presentan a toda la comunidad nacional e internacional esta Metodología para la Evaluación de Riesgos Climáticos en la Infraestructura Pública de Costa Rica (MERCÍ-CR).

Esta metodología responde a los requerimientos para el diseño de la infraestructura pública exigidos en Costa Rica por medio del Decreto de Resiliencia (DE-42465-MOPT-MINAE-MIVAH), Alcance

277 publicado en La Gaceta 254 del 20 de octubre de 2020.

MERCÍ-CR tiene como finalidad, poner a disposición una herramienta de evaluación de riesgo climático que puede aplicarse tanto para infraestructura pública como privada. Esta es una propuesta metodológica amigable, simplificada y adaptada a la realidad de Costa Rica, lo que permite reducir costos y tiempo de ejecución. A partir de los resultados de la evaluación del riesgo, esta metodología posibilita al propietario de la infraestructura plantear con criterio técnico medidas de adaptación para su gestión, incluyendo opciones modernas basadas en la naturaleza.

La elaboración de la metodología se fundamenta en un enfoque participativo, pues su aplicación requiere tomar en cuenta diversos aspectos: conocimiento local de las comunidades del entorno inmediato, los principales usuarios, la experiencia y conocimiento del propietario de la infraestructura, el personal de operación y mantenimiento, y el criterio técnico del equipo de trabajo que facilita el proceso de aplicación. Es mediante esta sinergia de experiencias y conocimientos que el resultado de la evaluación favorece la toma de decisiones con base en la mejor ciencia disponible.

Así mismo, la generación de este tipo de metodologías junto con la construcción de políticas públicas, pretenden impulsar una línea de trabajo proactiva de prevención, que faculte a los usuarios de la infraestructura para ser resilientes a los impactos provocados por la variabilidad y el cambio climático.

En cuanto a su validación, es importante mencionar que MERCÍ-CR incorpora elementos de una serie de metodologías internacionales reconocidas sobre el tema, entre las que se destaca el protocolo del *Public Infrastructure Engineering Vulnerability Committee* (PIEVC por sus siglas en inglés) de Ingenieros de Canadá (<https://pievc.ca/>). Precisamente, el equipo de expertos que desarrolló MERCÍ-CR tiene experiencia a nivel nacional e internacional en la aplicación de este protocolo. La metodología está compuesta por cuatro ca-

pítulos. El primero, “Definición de elementos del estudio”, permite establecer los principales elementos que formarán parte del estudio, es decir, establece el contexto en el que se enmarcan el análisis, incluyendo la definición del alcance, los objetivos y las limitaciones, los componentes de la infraestructura y los parámetros climáticos que se deben tomar en cuenta, el horizonte temporal, aspectos socioeconómicos y ambientales y otra serie de elementos de relevancia para el estudio. Se incluyen también dos propuestas, una para definir algunos criterios a fin de priorizar la decisión sobre cuál infraestructura analizar y otra para definir, calificar y evaluar la robustez de la información utilizada en el estudio.

El capítulo 2, “Análisis de riesgos”, establece los elementos que ayudarán al equipo de trabajo en la definición de los factores de amenaza para la continuidad del servicio. Se deben determinar los niveles de riesgo a los que se expone la infraestructura producto de los parámetros climáticos que la amenazan, considerando tanto las escalas de vulnerabilidad y de probabilidad de ocurrencia de eventos climáticos, como los umbrales de tolerancia al riesgo, precisamente, de ese modo, se construye la matriz de riesgos del estudio. Los resultados obtenidos en esta sección constituyen el principal insumo del capítulo 3, “Evaluación del riesgo y medidas de adaptación”, donde se clasifican los riesgos encontrados de acuerdo con los umbrales definidos, se construye el perfil del riesgo y se exponen los criterios más importantes para definir las medidas de adaptación. Así mismo, se brinda una propuesta para precisar el perfil de adaptación de la infraestructura a partir de los resultados obtenidos en la evaluación de los riesgos.

Finalmente, en el capítulo 4, “Conclusiones y recomendaciones”, se sugieren algunos elementos que permiten comparar los resultados del análisis y evaluación de riesgos realizada con los objetivos y el alcance del estudio, de manera que puedan establecerse las principales conclusiones obtenidas por el equipo de trabajo y las recomendaciones asociadas que facultarán al propietario trabajar en la adaptación de la infraestructura.



Glosario

Adaptación: En los sistemas humanos, el proceso de ajuste al *clima* real o proyectado y sus efectos, a fin de moderar los daños o aprovechar las oportunidades beneficiosas. En los sistemas naturales, el proceso de ajuste al clima real y sus efectos; la intervención humana puede facilitar el ajuste al clima proyectado y sus efectos (IPCC, 2018).

Amenazas: Ocurrencia potencial de una tendencia o suceso físico de origen natural o humano que puede causar pérdidas de vidas, lesiones u otros efectos negativos sobre la salud, así como daños y pérdidas en propiedades, *infraestructuras*, medios de subsistencia, provisión de servicios, ecosistemas y recursos ambientales (IPCC, 2018).

Antropógeno: Resultante de la actividad de los seres humanos o producto de esta (IPCC, 2018).

Cambio climático: Variación del estado del *clima* identificable (p. ej., mediante pruebas estadísticas) en las variaciones del valor medio o en la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante períodos prolongados, generalmente décadas o períodos más largos. El cambio climático puede deberse a procesos internos naturales o a forzamientos externos, tales como modulaciones de los ciclos solares, erupciones volcánicas y cambios *antropógenos* persistentes de la composición de la atmósfera o del uso de la tierra. La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre

el Cambio Climático (CMNUCC), define *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. (IPCC, 2018).

Capacidad de adaptación: Capacidad de los sistemas, las instituciones, los seres humanos y otros organismos para adaptarse ante posibles daños, aprovechar las oportunidades o afrontar las consecuencias. (IPCC, 2018).

Clima: Estado promedio del tiempo y, más rigurosamente, una descripción estadística del tiempo atmosférico en términos de los valores medios y de la variabilidad de las magnitudes correspondientes durante períodos que pueden abarcar desde meses hasta miles o millones de años. El período de promedio habitual es de 30 años, según la definición de la Organización Meteorológica Mundial. Las magnitudes son casi siempre variables de superficie (p. ej., temperatura, precipitación o viento). En sentido más amplio, el *clima* es el estado del sistema climático en términos tanto clásicos como estadísticos (IPCC, 2018).

Criterio profesional: Aplicación del entrenamiento, los conocimientos, la experiencia y las destrezas obtenidas a lo largo de un período prolongado de práctica profesional. Como parte de una evaluación de vulnerabilidad, el *criterio profesional* se refiere a los criterios combinados del equipo de usuarios, el propietario de la infraestructura y su personal. Cada uno de los individuos puede contribuir desde una perspectiva única con respecto a las interacciones del clima – infraestructura según su trayectoria y relación con situaciones similares (PIEVC, 2011).

Conocimiento local: Saber y habilidades desarrolladas por las personas y poblaciones según los lugares donde viven. Estos conocimientos establecen la base para la toma de decisiones en aspectos fundamentales de la vida, desde actividades cotidianas hasta acciones a largo plazo. Constituyen un elemento fundamental de los sistemas sociales y culturales que influyen en las observaciones del *cambio climático* y las respuestas conexas; asimismo, fundamentan las decisiones de gobernanza (IPCC, 2018).

Exposición: La presencia de personas, medios de subsistencia, especies o ecosistemas, funciones, servicios y recursos medioambientales, infraestructura, o activos económicos, sociales o culturales en lugares y entornos que podrían verse afectados negativamente (IPCC, 2018).

Fenómeno climático extremo: La ocurrencia de una variable meteorológica o climática por encima (o por debajo) de un valor de *umbral* cercano al extremo superior (o inferior) de la horquilla de valores observados de la variable (IPCC, 2018).

Gas de efecto invernadero (GEI): Componente gaseoso de la atmósfera, natural o *antropógeno*, que absorbe y emite radiación en determinadas

longitudes de onda del espectro de radiación terrestre, por la propia atmósfera y por las nubes. Esta propiedad ocasiona el efecto invernadero (IPCC, 2018).

Gestión del riesgo: Planes, medidas, estrategias o políticas que tienen por objeto reducir la *probabilidad* de *riesgos* o las consecuencias de los *riesgos* o de responder a dichas consecuencias (IPCC, 2018).

Impactos: Consecuencias de los *riesgos* materializados en los sistemas humanos y naturales provenientes de las interacciones entre los peligros relacionados con el *clima* (incluidos los fenómenos meteorológicos y climáticos extremos), la *exposición* y la *vulnerabilidad*. Los *impactos* generalmente se refieren a efectos en las vidas, medios de subsistencia, salud y bienestar, ecosistemas y especies, bienes económicos, sociales y culturales, servicios (incluidos los *servicios ecosistémicos*) e infraestructuras. También pueden denominarse consecuencias o resultados, y pueden ser adversos o beneficiosos (IPCC, 2018).

Infraestructura: Los equipos básicos, los servicios públicos, las empresas productivas, las instalaciones y los servicios esenciales para el desarrollo, el funcionamiento y el crecimiento de una organización, una ciudad o una nación (IPCC, 2007).

Medidas de adaptación: Acciones requeridas para reducir o corregir los efectos negativos generados por el *cambio climático* (BID-MINAE-SINAC-DDC 2015).

Metadatos: Datos estructurados y actualizados que describen el contexto y las características de atribución, contenido, captura, procesamiento, calidad, condición, acceso, distribución u otras de



un conjunto de datos; que faciliten su búsqueda, identificación y uso.

Mitigación: Intervención humana destinada a reducir las emisiones o mejorar los sumideros de *gases de efecto invernadero*. (IPCC, 2018).

Modelos climáticos: Representación numérica del sistema climático basada en las propiedades físicas, químicas y biológicas de sus componentes, sus interacciones y procesos de retroalimentación, que recoge todas o algunas de sus propiedades conocidas. El sistema climático se puede representar mediante modelos de diverso grado de complejidad; en otras palabras, para cada componente o conjunto de componentes es posible identificar un espectro o jerarquía de modelos que difieren en aspectos tales como el número de dimensiones espaciales, el grado en que aparecen representados explícitamente los procesos físicos, químicos o biológicos, o el grado de utilización de parametrizaciones empíricas. Se está evolucionando hacia modelos más complejos que incorporan acciones químicas y biológicas interactivas. Los *modelos climáticos* se utilizan como herramienta de investigación para estudiar y simular el *clima* y para fines operativos, en particular predicciones climáticas mensuales, estacionales e interanuales. (IPCC, 2018).

Monitoreo y evaluación: Las actividades de monitoreo y evaluación se refieren a mecanismos implementados a nivel nacional y local para efectuar el monitoreo y la evaluación de las medidas relacionadas con la reducción de las emisiones de *gases de efecto invernadero* o la adaptación a los *impactos* del *cambio climático*, con miras a determinar, caracterizar y evaluar de forma sistemática los avances logrados con el tiempo (IPCC, 2018).

Probabilidad: Posibilidad de obtener un resultado determinado, siempre que sea posible estimarlo por métodos probabilísticos (IPCC, 2018).

Resiliencia: Capacidad de los sistemas sociales, económicos y ambientales para afrontar un

suceso, tendencia o perturbación peligrosos respondiendo o reorganizándose de modo que mantengan su función esencial, su identidad y su estructura, conservando al mismo tiempo la *capacidad de adaptación*, aprendizaje y transformación (IPCC, 2018).

Riesgo: a) Probabilidad de que se presenten pérdidas, daños o consecuencias económicas, sociales o ambientales en un sitio particular y durante un periodo definido. Se obtiene al relacionar la amenaza con la vulnerabilidad de los elementos expuestos (Ley 8488, 2020).

b) Potencial de que se produzcan consecuencias adversas por las cuales algo de valor está en peligro y en las cuales un desenlace o su magnitud son inciertos. En el marco de la evaluación de los *impactos* del *clima*, el término *riesgo* suele utilizarse para hacer referencia al potencial de consecuencias adversas de un peligro relacionado con el clima, o de las respuestas de *adaptación* o *mitigación* a dicho peligro, en la vida, los medios de subsistencia, la salud y el bienestar, los ecosistemas y las especies, los bienes económicos, sociales y culturales, los servicios (incluidos los *servicios ecosistémicos*), y la *infraestructura*. Los *riesgos* se derivan de la interacción de la *vulnerabilidad* (del sistema afectado), la *exposición* a lo largo del tiempo (al peligro), así como el peligro (relacionado con el clima) y la *probabilidad* de que ocurra (IPCC, 2018).

Servicios climáticos: Información y productos que afianzan los conocimientos y la comprensión que tienen los usuarios sobre los *impactos* del *cambio climático* o la *variabilidad del clima*, de modo que se contribuya a la toma de decisiones de las personas y las organizaciones, y se faciliten la preparación y la adopción de medidas tempranas para enfrentar el *cambio climático*. Entre los productos se incluyen productos de datos climáticos (IPCC, 2018).

Servicios ecosistémicos: Procesos o funciones ecológicas que tienen un valor, monetario o

no, para los individuos o para la sociedad en su conjunto. Generalmente se clasifican en: 1) servicios de apoyo, por ejemplo, mantenimiento de la productividad o la biodiversidad; 2) servicios de aprovisionamiento, por ejemplo, de alimentos o fibra; 3) servicios de regulación, por ejemplo, regulación del *clima* o secuestro de carbono; y 4) servicios culturales, como el turismo o el disfrute espiritual o estético (IPCC, 2018).

Soluciones basadas en naturaleza (SbN): Concepto que abarca todas las acciones que se apoyan en los ecosistemas y los servicios que estos proveen, para responder a diversos desafíos de la sociedad como el *cambio climático*, la seguridad alimentaria o el riesgo de desastres (IUCN, 2017).

Umbrales: Nivel de magnitud de un proceso del sistema en el que se produce un cambio repentino o rápido. Punto o nivel en el que surgen nuevas propiedades en un sistema ecológico, económico o de otro tipo, que invalida predicciones basadas en relaciones matemáticas que se aplican a niveles inferiores (IPCC, 2007).

Variabilidad climática: Variaciones del estado medio y otras características estadísticas (desviación típica, sucesos extremos, etc.) del *clima* en todas las escalas espaciales y temporales más amplias que las de los fenómenos meteorológicos. La variabilidad puede deberse a procesos internos naturales del sistema climático (variabilidad interna) o a variaciones del forzamiento externo natural o *antropógeno* (variabilidad externa) (IPCC, 2018).

Vulnerabilidad: Propensión o predisposición a ser afectado negativamente. La *vulnerabilidad* comprende una variedad de conceptos que incluyen la sensibilidad o susceptibilidad al daño y la falta de capacidad de respuesta y *adaptación* (IPCC, 2018).



Acrónimos

AyA	Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados
BM	Banco Mundial
BMU	<i>Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit</i> (Ministerio Federal Alemán para el Medio Ambiente, la Conservación de la Naturaleza y la Seguridad Nuclear)
CFIA	Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos
CGR	Contraloría General de la República de Costa Rica
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
NDC	<i>Nationally Determined Contribution</i> (Contribución Determinada a nivel Nacional)
CNE	Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias
CONAVI	Consejo Nacional de Vialidad
CRTM05	Costa Rica Transversal Mercator 05
DCC	Dirección de Cambio Climático de Costa Rica
GCM	General Circulation Model (Modelos de Circulación General)
GEI	Gases Efecto Invernadero
GIZ	<i>Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit</i> (Agencia de Cooperación Alemana para el Desarrollo)
IMN	Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica
IPCC	<i>The Intergovernmental Panel on Climate Change</i> (Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático)
ISO	The International Organization for Standardization (Organización Internacional de Estandarización)
ITCR	Instituto Tecnológico de Costa Rica
IUCN	<i>International Union for Conservation of Nature</i> (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza)
LANAMME	Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales
MERCI-CR	Metodología de Evaluación de Riesgo Climático en Infraestructura de Costa Rica
MINAE	Ministerio de Ambiente y Energía
MIVAH	Ministerio de Vivienda y Asentamientos Humanos
MOPT	Ministerio de Obras Públicas y Transportes
MRV	Measurement, Reporting and Verification (Medición, Reporte y Verificación)
PIEVC	<i>The Public Infrastructure Engineering Vulnerability</i> Committee (Comité de Vulnerabilidad de Ingeniería de Infraestructura Pública)
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
RCM	Regional Climate Model (Modelos Climáticos Regionales)
RCP	Representative Concentration Pathway (Rutas Representativas de Concentración)
SbN	Soluciones basadas en la Naturaleza
SETENA	Secretaría Técnica Nacional Ambiental
SINAC	Sistema Nacional de Áreas de Conservación
SINAMECC	Sistema Nacional de Métrica del Cambio Climático
SNIP	Sistema Nacional de Inversión Pública de Costa Rica
UCR	Universidad de Costa Rica

CAPÍTULO 1

DEFINICIÓN DE ELEMENTOS DEL ESTUDIO

En el marco de la metodología, al analizar una infraestructura determinada, no solamente se debe contemplar el activo físico como tal, sino que se debe visualizar la etapa del proyecto (iniciación, planificación, ejecución, control y cierre) o el momento en el que se encuentra la infraestructura en su ciclo de vida (diseño, construcción, operación y mantenimiento). Así, se deben considerar diferentes factores, tales como cuál es la mejor zona desde la perspectiva geológica, hidráulica o climática, sin obviar que la ubicación geográfica está en función del servicio que brindará, de la legislación vigente e, incluso, de los recursos naturales disponibles.

De esa manera, al realizar un estudio de evaluación de riesgo de infraestructura ante la variabilidad climática y el cambio climático, o bien, por otras amenazas naturales, independientemente de la etapa del proyecto o del ciclo de vida en que se encuentre el activo, se deben contemplar no solamente los factores mencionados, sino todos los que se consideren necesarios en función del servicio que brinda la infraestructura. En este capítulo, se abordan las generalidades y alcances de la evaluación para perfilar la identificación del riesgo y su gestión.

1.1 Justificación y objetivos

El planteamiento tanto de la justificación como de los objetivos debe delimitar de forma clara el alcance del estudio. Al detallar el trabajo necesario para entregar el resultado esperado, con las características y funciones especificadas, la aplicación de la metodología tendrá mayor probabilidad de finalizar con éxito.

En los proyectos con procesos de grandes magnitudes y alto grado de complejidad, el análisis puede ser dividido en fases, de tal manera que los elementos del estudio, incluyendo la definición y los objetivos, se puedan establecer individualmente para cada una de ellas y, de manera general, para el conjunto del proyecto.

1.1.1 Justificación

Esta sección debe responder a la pregunta de **¿por qué se efectúa el estudio?**

La respuesta debe relacionar, de manera integral, el interés, la necesidad, la utilidad, la novedad de la obra o proyecto y su vulnerabilidad a las amenazas climáticas u otras. Se debe tener en cuenta que la infraestructura existe para brindar un servicio y que puede afectarse por diferentes factores de vulnerabilidad, generando daños en el entorno inmediato, como interrupción de rutas de acceso y de otros servicios, perjudicando a productores, al desarrollo turístico y a las comunidades cercanas.

Además, se debe explicar la manera en la que el proyecto solucionará el o los problemas planteados y cuál será la contribución del estudio.

La inclusión de los resultados esperados a corto, mediano o largo plazo es deseable en este apartado, los cuales deben enfocarse desde la perspectiva del beneficio socioeconómico, geopolítico y geográfico como guía para los propietarios y usuarios del proyecto.

1.1.2 Objetivos

Su definición debe comprometer una acción determinada con un verbo en infinitivo y un resultado concreto que respondan a la pregunta **¿Qué se va a hacer?** En esta sección, se deben expresar los propósitos que se han determinado para el desarrollo de la evaluación de riesgos.

El objetivo general representa lo que se quiere alcanzar, la situación futura a la que se desea llegar

y debe expresarse en términos de los resultados, de forma que sea fácil de evaluar cuando se termine el análisis.

Por su parte, los objetivos específicos buscan soluciones concretas a la condición planteada en el objetivo general. La definición de estos debe responder las siguientes preguntas:

- ¿Cómo se realizará el estudio?
- ¿Para qué se realizará el estudio?
- ¿Cuándo se realizará el estudio?
- ¿Quién realizará el estudio?

La redacción permite guiar el enfoque del estudio con el fin de mantener la coherencia entre los objetivos planteados y los resultados del análisis de riesgo.

Partiendo del hecho de que el riesgo puede representar tanto una amenaza como una oportunidad, es factible utilizar las siguientes preguntas claves para su definición.

- ¿Quién pierde o gana?
- ¿Qué se pierde o se gana?
- ¿Por qué se pierde o se gana?

1.2 Alcance del estudio

En este apartado, se debe establecer hasta dónde llega el estudio por desarrollar con base en el presupuesto, la línea de tiempo y la capacidad de financiación de las medidas de adaptación.

El alcance debe detallar los resultados esperados con la aplicación de esta herramienta.

1.2.1 Criterio para selección de infraestructura específica

En el caso específico en el cual el propietario de la infraestructura o proyecto deba enfocar la evaluación en un conjunto de activos del mismo tipo, se debe ejecutar un proceso de selección y priorización. El equipo de trabajo tendrá la posi

de utilizar el método expuesto en la Tabla 1, tomando en cuenta la disponibilidad de información existente clasificada en tres grupos distintos: información de servicios climáticos, información de la infraestructura e información sobre su valor estratégico (socioeconómico, político y geográfico) para la comunidad. Cada grupo tiene asignado un peso relativo que, para el caso de la Tabla 1, se toma con una distribución de 40 %, 40 % y 20 %, respectivamente. En cada uno de esos grupos, se incluye una propuesta de una serie de criterios, los cuales, a su vez, tienen asociados un puntaje individual para cada uno de ellos. Su sumatoria final es 100. Conviene aclarar que el equipo de trabajo podrá variar o ajustar tanto los pesos relativos como los criterios y las puntuaciones propuestas en la Tabla 1, siempre y cuando se presente una justificación que deje en claro el criterio por el cual se aplica la modificación. A manera de ejemplo, en el Anexo 1 se muestra una propuesta de matriz de priorización específica para el caso de un puente, que puede ser utilizada como punto de partida para casos similares.

Las principales ventajas de aplicar la matriz de priorización son:

- El equipo de trabajo puede variar o ajustar los criterios y su puntuación, lo cual le brinda la flexibilidad necesaria para cubrir sus necesidades.
- Facilita la discusión, evaluación y consulta de una gran cantidad de criterios e información entre las diferentes partes interesadas del proyecto, incluyendo el equipo de trabajo, el propietario de la infraestructura e inclusive actores externos.
- Simplifica el cálculo y la evaluación de una gran cantidad de criterios para procesos de priorización y toma de decisiones, al aceptar, inclusive, el uso de medios informáticos para ello.
- Facilita el consenso entre las partes interesadas en cuanto a la priorización de opciones, a través de un análisis multicriterio.

Tabla 1
Criterios de Priorización y Selección con Pesos Relativos
Tipo de Infraestructura (*)

Grupo 1 Información de Servicios Climáticos. Peso ponderado: 40 %		Grupo 2 Información sobre la Infraestructura misma Peso ponderado: 40 %		Grupo 3 Valor estratégico: socioeconómico, político y geográfico. Peso Ponderado: 20 %	
Criterios	Peso rela- tivo (ptos. de 100)	Criterios	Peso relativo (ptos. de 100)	Criterios	Peso relativo (ptos. de 100)
Existe una estación meteorológica representativa a menos de 20 km de radio del punto de interés en funcionamiento	20	Se cuenta con estudios de perfil, prefactibilidad y factibilidad del proyecto	5	Grado de visibilidad mediática de la infraestructura	10
Existe una estación meteorológica representativa a menos de 20 km de radio del punto de interés que se encuentra fuera de operación en la actualidad, pero ha tenido registros en los últimos 10 años	10	Existen planos de diseño constructivos de la infraestructura (nueva o por rehabilitar)	20	Impacto económico que provoca el cierre de la infraestructura en estudio, según pérdidas en producción (agrícola, industrial), turismo, salud, comercio, etc.	30
Existe información hidrométrica (fluviométrica o fluviográfica) del cauce de estudio cuando se trata de infraestructura hidráulica	10	Existe información geotécnica disponible (estudios de mecánica de suelos, infiltración, etc.)	10	Existe redundancia del servicio que brinda la infraestructura sin afectar los sectores salud y economía	15
Existen curvas de intensidad, duración y frecuencia de precipitación en el área del proyecto	10	Existe información sobre fallas geológicas, información histórica sísmica, etc.	5	Al momento de tomar decisiones para intervenir una infraestructura, ¿valoran los responsables de la obra criterios de cambio climático?	10
Existen registros históricos sobre eventos hidrometeorológicos extremos: ciclones, ráfagas frentes fríos, sistemas de baja presión, tormentas eléctricas, sequías	10	Existen permisos (para obra nueva o por ser sustituida o rehabilitada) de: viabilidad ambiental, de construcción, municipales, entre otros.	10	La dimensión del impacto social que provoca la inhabilitación de la infraestructura en estudio es a nivel local, nacional o internacional (mayor valor dependiendo del alcance territorial)	20
Existen mapas de amenaza (en función de deslizamientos, inundaciones, sismos, sequía entre otros)	10	Se conoce el presupuesto para la construcción o rehabilitación de la infraestructura en estudio o una estimación de él (en USD)	5	Existe una posible afectación o daño ambiental debido a construcciones nuevas o con cambio de ubicación	10
Existe información del área en estudio, como relieve, geomorfología, tipos de suelos, uso del suelo, zonas de vida, planes de ordenamiento territorial, planes de desarrollo regionales y municipales	5	Existen recursos para mantenimiento de la infraestructura	5	Nivel de organización de los usuarios de la infraestructura o vecinos (líderes y organización local)	5
Se han desarrollado modelaciones de cuencas en los casos que aplique	5	En infraestructuras existentes, se cuenta con bitácoras de operación o mantenimiento	10		
Existen proyecciones de cambio climático (precipitación y temperatura) para el área en estudio	10	Existe información del número de beneficiados de la infraestructura	10		

Grupo 1 Información de Servicios Climáticos. Peso ponderado: 40 %		Grupo 2 Información sobre la Infraestructura misma Peso ponderado: 40 %		Grupo 3 Valor estratégico: socioeconómico, político y geográfico. Peso Ponderado: 20 %	
Criterios	Peso rela- tivo (ptos. de 100)	Criterios	Peso relativo (ptos. de 100)	Criterios	Peso relativo (ptos. de 100)
Existen proyecciones sobre eventos hidrometeorológicos extremos elaborados para el área en estudio	10	Existe información sobre el uso promedio de la infraestructura, según corresponda (visitantes, habitantes, peatones, ciclistas, tránsito promedio vial, abonados del sistema, etc.), en los casos que aplique	5		
		La infraestructura brinda conectividad para otros servicios públicos (cables de telecomunicación, acueducto, oleoducto, cables eléctricos, salud, educación, etc.)	10		
		La infraestructura se encuentra a cargo de una institución o unidad que intervenga en el monitoreo y mantenimiento de la obra.	5		
Suma:	100 ptos.	Suma:	100 ptos.	Suma:	100 ptos.

Fuente: Elaboración propia

(*): El valor relativo entre los grupos de criterios (40 %, 40 % y 20 %) se enfoca en la aplicabilidad de la metodología y no mide la importancia de la infraestructura.

1.2.2 Descripción

En esta sección se detalla cómo se desarrollará la evaluación en las diferentes fases metodológicas, iniciando con la descripción del tipo y uso la de infraestructura, etapa del proyecto o fase del ciclo de vida, su ubicación y condición actual (en caso de existir), y las vulnerabilidades identificadas debido a las afectaciones por eventos climáticos. En la referencia general del clima de la zona, se debe presentar un resumen de las condiciones climáticas que hayan afectado o que podrían afectar la infraestructura en análisis, así como otras obras cercanas que sean de interés para el estudio.

1.2.3 Antecedentes

En esta sección se explica cuál ha sido la incidencia climática sobre la infraestructura, sus efectos, su comportamiento histórico, la gestión del daño o impacto (en caso de existir), si se han realizado intervenciones inmediatas o preventivas del riesgo, entre otros aspectos. Todo esto, tomando como referencia la fecha de inicio del estudio.

Esta sección debe incluir el siguiente detalle:

- i. Contexto donde se ubica la infraestructura (emplazamiento).
- ii. Eventos y circunstancias anteriores que sirven como condiciones de partida para el estudio.
- iii. Resumen de datos y observaciones que permiten emitir criterios sobre cómo ha respondido la infraestructura ante un conjunto específico de parámetros climáticos o de otra índole, así como las intervenciones realizadas (si existen).

En caso de que no exista información específica relacionada con la infraestructura por evaluar, es posible utilizar información más general sobre afectaciones cercanas al emplazamiento de esa infraestructura en el entorno inmediato. Así mismo, si no existiera información específica del cli-

ma en la zona en estudio se pueden utilizar otras referencias climatológicas, como punto de partida ante la ausencia de antecedentes.

1.2.4 Limitaciones

En esta sección se establecen las condiciones o circunstancias que podrían impedir o dificultar el desarrollo del estudio. Se recomienda utilizar al menos cinco categorías de limitaciones: disponibilidad de la información, aspectos de carácter tecnológico, plazo para la ejecución, de recurso humano y de recursos financieros.

En caso de que alguna de las categorías no aplique a la evaluación o se desee cambiar alguna de ellas, el usuario de la metodología podrá proceder con el reemplazo indicando la justificación correspondiente.

1.2.4.1 Limitaciones de disponibilidad de información

- i. Inexistencia o acceso limitado de datos y servicios climáticos: en este caso, el equipo de trabajo puede usar criterio experto, o bien, desarrollar su propia información utilizando los recursos disponibles: repositorios de información como por ejemplo el Climate Change Knowledge Portal del Banco Mundial, bases de datos satelitales, generación de modelos, investigaciones científicas existentes, etc.
- ii. Inexistencia de datos técnicos o acceso limitado: ante esta situación, el equipo de trabajo puede usar criterio experto, o bien, desarrollar su propia información utilizando recursos disponibles, como levantamientos de campo, ensayos destructivos y no destructivos, información existente sobre obras similares y de normativa.

1.2.4.2 Limitaciones de carácter tecnológico

- i. La disponibilidad de equipos informáticos.



La capacidad y actualización podrían no ser suficientes para el procesamiento de la información disponible.

- ii. La disponibilidad de programas y licencias para el análisis.
- iii. La falta de capacitación para el uso de herramientas tecnológicas.

1.2.4.3 Limitaciones de plazo para la ejecución

- i. El tiempo disponible para la ejecución del estudio podría ser menor al requerido.
- ii. En caso de que el propietario de la infraestructura sea quien implementa el estudio utilizando solamente recursos internos, los tiempos de ejecución podrían ser mayores que los requeridos.
- iii. Se requiere apoyo de un experto en materia de análisis y evaluación de riesgo por cambio climático que conozca el proceso para guiar al equipo. El personal interno realiza todas las actividades claves asociadas con la evaluación; la demanda de recursos internos es alta durante todo el proyecto y depende de la disponibilidad y compromiso de cada miembro del equipo, lo cual podría redundar en un plazo mayor de ejecución.

1.2.4.4 Limitaciones de recurso humano

- i. Cuando el propietario de la infraestructura implementa el estudio utilizando recursos internos, la participación del personal en el proyecto es secundaria a sus actividades cotidianas y podría no representar una prioridad.
- ii. El equipo de personal interno podría no contar con la capacitación y conocimiento técnico que el estudio requiere.

1.2.4.5 Limitaciones de recursos financieros

- i. Una de las posibilidades para realizar el análisis es la contratación de un experto externo en evaluaciones de riesgo. En esta modalidad se utilizan recursos internos para la gestión del proyecto, la adquisición de datos, la participación en talleres y la revisión de resultados. El equipo consultor realiza la mayor parte del trabajo fuera del sitio y el pago de sus honorarios representa una inversión económica mayor.
- ii. Según la disponibilidad de la información climática, se podrían requerir fondos considerables para comprarla.

1.3 Equipo de trabajo

La evaluación debe ser producto de un proceso multidisciplinario que se deriva del conocimiento técnico combinado de todo el equipo de trabajo que puede integrarse a lo interno de la organización, por contratación externa de servicios profesionales, o bien, por una combinación de las opciones anteriores.

Las diferencias en enfoque y terminología de un conjunto de disciplinas permiten potenciar la perspectiva necesaria para que, con el trabajo conjunto, se entienda y complemente lo que cada disciplina aporta al proyecto.

Es necesario designar un líder de equipo que promueva la cooperación y el intercambio interdisciplinario, de manera que los diversos profesionales involucrados en el proceso se comuniquen entre sí, cumpliendo de forma clara con las tareas y actividades asignadas a cada uno. Diferentes disciplinas profesionales a menudo usan las mismas palabras para transmitir significados diferentes, por lo que el líder de equipo debe promover el trabajo en equipo hacia un objetivo común, de manera que los conocimientos de diferentes disciplinas no sean un foco de divergencia y desacuerdo entre los integrantes del equipo.

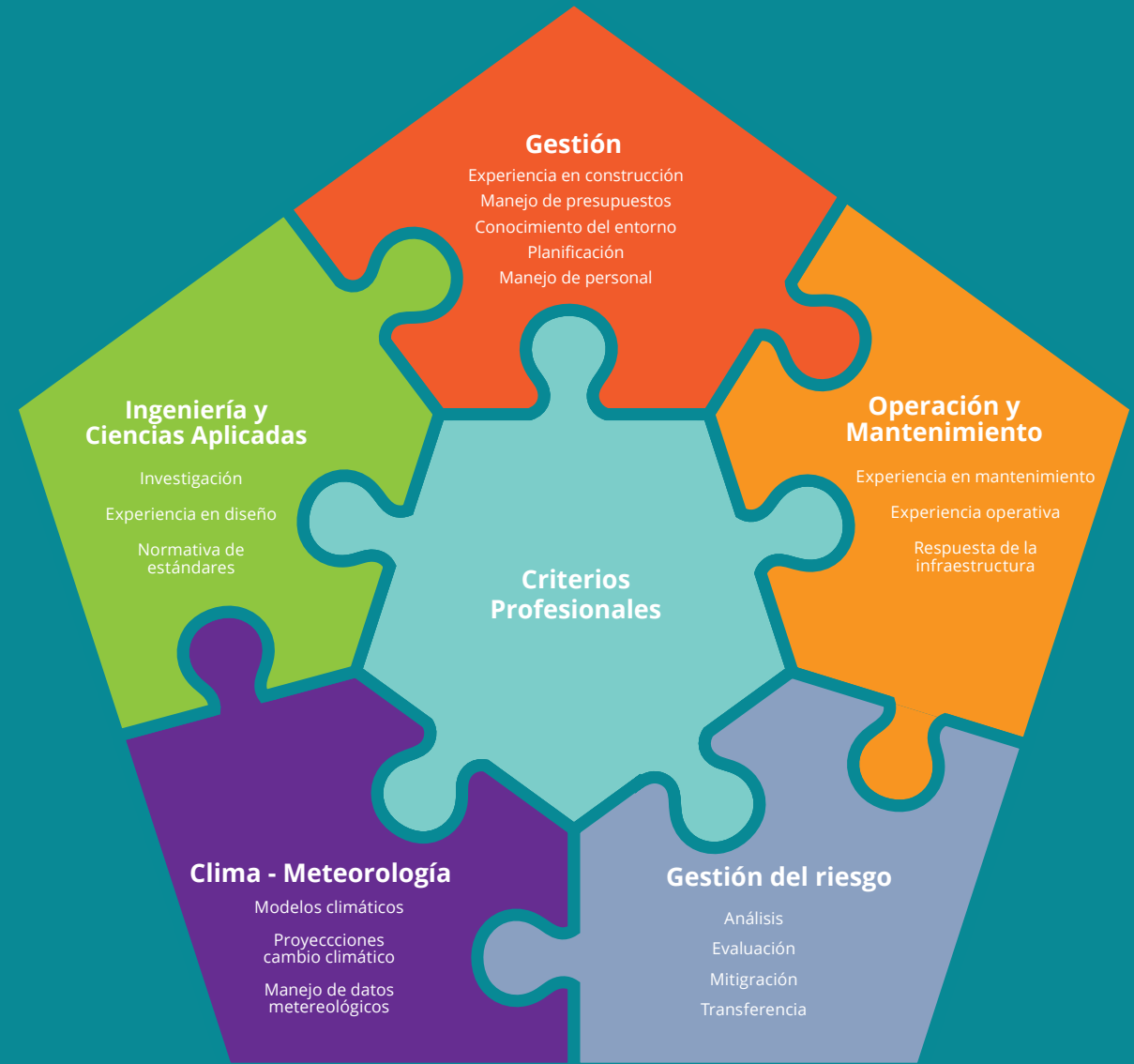
El equipo de trabajo debe contar con los siguientes conocimientos:

- i. Comprensión del riesgo y los procesos de su valoración, análisis y evaluación.
 - ii. Conocimiento de la ingeniería directamente relacionada con el tipo de infraestructura.
 - iii. Conocimiento y experiencia en el Sistema Nacional de Inversión Pública y la Administración Pública.
 - iv. Conocimiento general y técnico sobre clima y meteorología representativos para la región en estudio, incluyendo:
- Conocimiento en meteorología, climatología y las ciencias relacionadas.
 - Conocimiento del sistema climático de la Tierra y su interacción con el entorno natural y construido.

- Conocimiento de las ciencias de la variabilidad climática y del cambio climático, sus modelos, sus impactos potenciales y posibles medidas para adaptarse al clima cambiante.
- Experiencia en trabajo con servicios climáticos.
- Experiencia práctica operativa y administrativa sobre el servicio que brinda la infraestructura específica a evaluar.
- Experiencia sobre soluciones basadas en naturaleza (servicios ecosistémicos).

En la Figura 1 se muestran de forma gráfica las diferentes habilidades de conocimiento e interacciones entre las diferentes disciplinas, que permiten llegar a los criterios profesionales consensuados del equipo de trabajo para el estudio.

Figura 1
Habilidades e interacciones entre los miembros del equipo



Fuente: Elaboración propia

1.4. Infraestructura

1.4.1 Descripción general

En este apartado se debe desarrollar la descripción de la infraestructura como estructura física y organizativa, redes o sistemas, en función del contexto del servicio que brinda. La infraestructura puede pertenecer al sector público o privado, o a una alianza público-privada, esto depende de su administración y regulación. Además, debe tomarse en cuenta que, según el artículo 2. Definiciones del Decreto No.42465-MOPT-MINAE-MIVAH, existen diferentes tipos de infraestructura, dentro de las que menciona: infraestructura pública, infraestructura pública convencional, infraestructura pública crítica, infraestructura pública vital e infraestructura verde.

De la información por recopilar para la descripción general de la infraestructura está la ubicación, tipo, uso y etapa del ciclo de vida en que se encuentra.

Con base en el ciclo de vida se consideran las siguientes indicaciones:

- Infraestructura en fase de reinversión (perfil, prefactibilidad o factibilidad) o en fase de diseño: se deben analizar los antecedentes de la estructura precedente en los casos en que sea una sustitución en los de una nueva obra o proyecto se debe recopilar la información de los estudios de diseño disponibles, así como los de pre y factibilidad.
- Infraestructura por rehabilitar o reconstruir: se deben incorporar también datos de diseño si se cuenta con los planos de construcción, materiales, años de servicio y vida útil remanente, daños estructurales (si los hubiera), daños o afectaciones debido a algún evento natural (climáticos, sismos, deslizamientos, erupciones volcánicas).

1.4.2 Relevancia para el desarrollo del entorno inmediato (sociocultural, económica y ambiental)

En principio, se deben analizar los impactos positivos o negativos sobre los sectores sociocultural, económico y ambiental, que podrían ocurrir por la construcción, rehabilitación, remodelación, falla o cierre ocasional de operaciones de la infraestructura.

A nivel de aplicación, una vez definidos los posibles impactos, se seleccionan los sectores que puedan resultar más vulnerables para ser sujetos de análisis. A continuación, se presenta un listado de posibles afectaciones por sectores socioculturales, económicos y ambientales, que deben ser analizadas por el equipo de trabajo para definir un listado definitivo.

Socioculturales

- Patrimonio cultural
- Ordenamiento territorial y regulaciones urbanísticas
- Posibles afectaciones en la salud de la comunidad
- Reasentamientos (expropiaciones) necesarios para el desarrollo de la infraestructura
- Participación ciudadana (grupos- comunidades-tomadores de decisiones)
- Alteraciones a los medios y condiciones de vida
- Conflictos sociales
- Atención de emergencias

Económicos

- Acceso a mercados y servicios
- Empleos
- Movilidad y transporte (terrestre, aéreo, marítimo), beneficios de accesibilidad mejorando la conectividad y redundancia del servicio
- Aumento de costo de vida (peajes, industrialización en zonas rurales).
- Medios de producción (público-privado) y diversificación actividades productivas.



Ambientales

- Patrimonio ambiental
- Impactos en ecosistemas
- Contaminación
- Biodiversidad

1.4.3 Horizonte temporal

El horizonte temporal de análisis se define en función del tipo de infraestructura que considere el estudio. Dicho horizonte se basa tanto en la vida útil de la infraestructura como en los años de servicio acumulados. Por ejemplo, para una infraestructura que se encuentra ya construida, y que será restaurada, reconstruida o rehabilitada, el horizonte temporal podrá ser el plazo hasta la próxima restauración o rehabilitación de la obra, o el remanente de su vida útil; mientras que, para el caso de una infraestructura nueva, el horizonte temporal corresponderá a la vida útil según diseño de la obra.

1.4.4 Componentes de la infraestructura

La metodología establece que el análisis de riesgo desagrega las componentes de la infraestructura por sistemas (estructural, hidráulico, eléctrico, electrónico, mecánico, otro). La identificación de

las componentes debe resultar de una discusión del equipo de trabajo, con base en la información técnica disponible y recopilada. El equipo de trabajo puede utilizar la lista de chequeo que se presenta en el Anexo 2 como un punto de partida para el análisis. La lista debe ser utilizada previo al inicio de la evaluación. De manera adicional, el Anexo 3 ofrece una lista de posibles componentes por tipo de infraestructura. Este listado deberá ser validado de manera conjunta por el propietario de la infraestructura y el equipo de trabajo, para establecer la lista definitiva.

Una vez definida la lista de componentes por considerar, se asigna un código de referencia para cada componente, así como la información correspondiente a cada uno de ellos. En la Tabla 2, se propone un formato para la ficha técnica de registro, la cual permite sistematizar la información recopilada, incluyendo las características técnicas de cada componente. Esta ficha se puede modificar según lo considere el equipo de trabajo, de acuerdo con la información disponible.

Tabla 2
Ficha Técnica: Componente de infraestructura

Nombre	
Código	ID-
Número de componentes	Identificar la cantidad total de elementos por tipo de componente
Tipo de Sistema	Estructural, hidráulico, eléctrico, electrónico, mecánico, otro
Ubicación	Identificar la ubicación de las componentes en la infraestructura o proyecto (se pueden definir códigos de ubicación por tramos o áreas)
Consideraciones técnicas	Información relevante en cuanto a materiales de construcción, antigüedad, condición física, modificaciones estructurales, entre otras
Daños conocidos o registrados	Por efecto de alguna amenaza climática o natural
Prácticas de mantenimiento	Identificar los programas de mantenimiento preventivo actuales y los que se dejaron de realizar, ya sea en bitácoras de operación o directamente con el propietario de la infraestructura. Considerar actividades de mantenimiento de respuesta a daños parciales o totales
Operación del activo y gestión de riesgos	Considerar seguros de protección, políticas, lineamientos, normativa de diseño y construcción (regulación), así como consideraciones legales

Fuente: adaptación con base en el PIEVC

1.4.5. Consideraciones adicionales

Se deben indicar las posibles afectaciones a la infraestructura o proyecto causadas por servicios administrados por terceros, como líneas de tendido eléctrico y telecomunicaciones, tuberías de acueductos, así como otras infraestructuras que pudieron tener alguna interacción con la infraestructura en análisis.

1.5. Geografía de la zona

Costa Rica se ubica geográficamente en la zona intertropical y su topografía es variada, con dos sistemas montañosos principales. Como consecuencia, variables como el clima, la vegetación y el suelo presentan cambios significativos según la zona de interés, por lo que las características geográficas toman mayor relevancia en el emplaza-

miento de las infraestructuras y, por ende, deben tomarse en cuenta todos los metadatos posibles para la identificación de los riesgos e interacciones entre el clima y la infraestructura.

Los metadatos sobre información geográfica dan una idea de la zona donde se encuentra la estructura y describen cómo es el entorno. Es por eso que el estudio debe incluir todas las característi-

cas geográficas que pueden condicionar el funcionamiento de la infraestructura.

1.5.1 Ubicación del proyecto

En la Tabla 3 se presenta una propuesta de formato para tabular la información resumida y relevante para el estudio en cuanto a la localización de la infraestructura por evaluar.

Tabla 3
Ficha Técnica: Componente de infraestructura

Provincia	Cantón	Distrito	Poblado
Coordenadas geográficas			
Latitud CRTM05		Longitud CRTM05	
Hoja topográfica			
Elevación (msnm)			
Delimitación geográfica de análisis (km²)			
Características (relieve, hidrología) de la zona de emplazamiento			
Descripción de la cuenca o mapa hidrográfico			
Mapa de amenazas			

Fuente: adaptación con base en el PIEVC

1.5.2. Uso de suelo

Se debe identificar el uso del suelo en la zona de estudio, determinar la existencia o no de un plan regulador y los alcances de otras leyes conexas que puedan generar alguna limitación al emplazamiento de la infraestructura. En ocasiones, el entorno varía de manera sustancial con la distan-

cia en términos demográficos (uso urbano, uso mixto, agrícola, ganadería, comercial, industrial, residencial, entre otros), por lo que resulta una buena práctica tomar nota de estas variaciones en distintos rangos de distancia (por ejemplo: 0 m-100 m, 100 m-1 km, 1 km-10 km) en función del área de influencia del proyecto.

1.5.3 Exposición a otras amenazas (riesgos periféricos)

Los proyectos tienen interacciones altas con el entorno inmediato que los rodea y son las que, en muchos casos, determinan no solo si los proyectos se ejecutan o no, sino también su vigencia en la fase de operación.

En caso de que se disponga de información sobre otras posibles amenazas en el entorno inmediato de la infraestructura o proyecto en estudio, el equipo de trabajo debe seleccionar aquellas

características geográficas (montañas, cuerpos de agua, áreas de inundación, zonas de deslizamientos, entre otras) que sean relevantes para la evaluación.

En la Tabla 4 se propone un formato de ficha técnica que se puede utilizar para documentar la información de exposición a otras amenazas, en caso de que el equipo decida incorporar este tipo de análisis al estudio. Al igual que las propuestas anteriores, si se considera necesario, el equipo de trabajo puede modificar la tabla.

Tabla 4
Ficha técnica: Exposición a otras amenazas

Características de la amenaza	
Distancia	
Dirección	
Elevación	
Ángulo	
Tipo	
Especifique el tipo de amenaza	
Afectación directa	
Posible afectación/afectación indirecta	

Fuente: Elaboración propia.

En caso de que el equipo de trabajo requiera un análisis de riesgo multiamenaza, en el Anexo 4 se presenta una propuesta de metodología aplicable.

1.6 Consideraciones jurisdiccionales

Se deben determinar e incluir los siguientes elementos:

- Las jurisdicciones técnicas que tienen control o influencia directa sobre la infraestructura en estudio, como, por ejemplo, consideraciones y normativa de diseño, requerimientos para tramitación de permisos constructivos, consideraciones de operación y mantenimiento, entre otras.
- Las jurisdicciones políticas administrativas, como límites cantonales, planes reguladores (planificación territorial) y otras.

1.7 Clima

1.7.1 Climatología del área de estudio

En este apartado se incluye una descripción general de la climatología del área en estudio.

En condiciones idóneas, el equipo de trabajo debe contar con la climatología del área en estudio, con registros históricos por un período de 30 años o más, que faciliten un análisis de frecuencias para cada parámetro climático asociado. No obstante, en los casos en los que no se cuente con esta información, se puede identificar la región climática y generar un escenario con los mejores datos disponibles, por ejemplo, estudios de climatologías, artículos científicos, reportajes, u otras investigaciones relacionadas.

1.7.2 Parámetros climáticos

Los parámetros climáticos por considerar en la evaluación se deben definir a partir de la identificación de los diferentes eventos (inundaciones, deslizamientos, avenidas repentinas o cabezas de agua, avenidas máximas, salinización de po-

zos, vientos, descargas atmosféricas, marejadas, oleajes, brisa marina y otros) que hayan generado alguna afectación o, eventualmente, podrían perjudicar la infraestructura o el proyecto. La selección de los parámetros de línea base del clima, requiere de un proceso de investigación con el propietario de la infraestructura, operadores, personal de mantenimiento, usuarios y habitantes del entorno.

En el Anexo 5 se muestra una lista con ejemplos de parámetros climáticos que pueden ser relevantes, así como una guía para asociar posibles afectaciones en la infraestructura que se analiza.

1.7.3 Umbrales

Los umbrales son los valores de referencia de los parámetros climáticos definidos a partir de los cuales, los eventos asociados a cada parámetro específico han generado o podrían generar un impacto, afectación o daño a la infraestructura, durante el período de análisis establecido en la línea de base del clima (se recomienda un período histórico de 20 años como mínimo), correspondiente a lo que se denomina clima actual.

El equipo de trabajo debe establecer los umbrales con base en la información disponible, proveniente, por ejemplo, de bitácoras de operación y mantenimiento de la infraestructura, de estaciones meteorológicas, hidrológicas, boletines meteorológicos, entrevistas a propietarios de la infraestructura, operadores, personal de mantenimiento o de la comunidad; también se puede hacer referencia a bases de datos sobre desastres, documentos en medios de comunicación escritos o digitales, redes sociales, y otras fuentes de información. La lista de comprobación del Anexo 2 también puede ser utilizada para ello.

Los umbrales se deben establecer para una región determinada en función de los impactos que puedan tener sobre la infraestructura, pues los regímenes climáticos varían de una región a otra, así como de un tipo de infraestructura a otra.

Es importante destacar que los valores de los umbrales pueden precisar condiciones máximas o mínimas, según corresponda. Por ejemplo, en el caso de la temperatura, es posible establecer una máxima por encima de la cual el componente de infraestructura considerado puede presentar una pérdida operacional y otra mínima que puede culminar en una pérdida funcional.

Se debe considerar que no todos los eventos climáticos interactúan con la infraestructura. Por lo tanto, si un suceso es irrelevante para el funcionamiento normal de la obra, no se determina un umbral y no se le debe asignar puntaje de riesgo.

1.7.4 Supuestos de cambio climático: clima futuro

El clima futuro se debe determinar a partir de las tendencias o proyecciones de cada uno de los parámetros climáticos seleccionados (línea base del clima), debido a los efectos del cambio climático y la variabilidad climática.

Estas proyecciones se basan tanto en modelos de circulación global (GCM por sus siglas en inglés) que cubren todo el planeta, por lo que la resolución o tamaño de la cuadrícula varía entre 100 km y 200 km, así como con los modelos regionales (RCM por sus siglas en inglés) que abarcan una región climática limitada y que pueden llegar a reducir la resolución espacial a niveles entre 25 km y 50 km.

El período de análisis está relacionado con la vida útil o ciclo de vida de la infraestructura o proyecto. Es importante indicar que los modelos de proyección para el cambio climático se generan para períodos de 30 años, por lo que el equipo de trabajo debe decidir e indicar el período de análisis utilizado. Por otro lado, los modelos de cambio climático se desarrollan para diferentes tipos de trayectoria de concentración representativa (RCP, por sus siglas en inglés) que corresponde a una gama de posibles cambios en las futuras emisiones antropogénicas de los gases efecto

invernadero (GEI), adoptadas por el Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) en el Quinto Informe de Evaluación en 2014, y su objetivo es representar las concentraciones atmosféricas a finales del 2100.

Los RCP originalmente están clasificados como RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6 y RCP 8.5 con base en un posible rango de valores de forzamiento radiactivo que van desde una trayectoria muy estricta en el RCP 2.6 con la toma de medidas para la reducción de emisiones, hasta un RCP 8.5 que implica un aumento continuo de las emisiones durante todo el siglo XXI, con un escenario business as usual.

Es importante recalcar la posibilidad de que algunos de los parámetros climáticos seleccionados estén relacionados a un fenómeno o evento específico, por ejemplo, altas velocidades del viento asociados a los efectos de un empuje frío o bien del efecto indirecto de un huracán.

Para realizar el análisis del clima futuro, el equipo de trabajo con experiencia en clima y meteorología debe documentar y evaluar la relevancia y aplicabilidad de las tendencias observadas del cambio climático global, regional o específicas para el área de estudio.

i. A partir de los modelos o de investigaciones con respecto a fenómenos que ocasionan los eventos identificados dentro de los parámetros climáticos, el equipo de trabajo debe identificar los cambios incrementales en las condiciones de la línea base del clima, según las tendencias identificadas. Se recomienda considerar los escenarios de cambio climático actualizados por parte del IMN al momento del estudio.

ii. El análisis de sensibilidad de los cambios en las condiciones de línea base del clima debe considerar los siguientes aspectos:



- Indicar si existe un aumento o una disminución en las condiciones de la línea base del clima según los porcentajes seleccionados, basados en el criterio profesional.
- Proporcionar una justificación escrita de los supuestos y valores usados en el análisis de sensibilidad.

iii. En los casos en los que no exista información de las tendencias de cambio climático en el área de estudio o que la resolución sea muy baja (lo cual generalmente implica una alta incertidumbre), se debe utilizar información sustituta de otras áreas geográficas para responder a estos vacíos identificados. Para ello, se debe documentar la fuente de los datos utilizados, garantizando que esta sea científicamente aprobada y se elabora una justificación sobre el uso de esta información.

iv. Se deben definir los supuestos y las predicciones sobre el cambio climático, y proporcionar una justificación escrita para su uso.

v. En la medida de lo posible, se deben utilizar modelos de cambio climático locales y regionales con el fin de proyectar los efectos del cambio climático en el área en estudio. Para ello, se deben realizar las siguientes acciones:

- Revisar la base y los supuestos básicos de los modelos.
- Proporcionar una justificación escrita para el uso de esos modelos en la evaluación.

1.8 Análisis de robustez de la información

El desarrollo de una estrategia de control y análisis de robustez de la información permite determinar un nivel de calidad de los datos utilizados en el estudio, con la intención de reducir la incertidumbre y la variabilidad de los resultados. A continuación, se proponen las especificaciones de una métrica de análisis de robustez para ser utilizada en la evaluación.

1.8.1 La calidad de los datos

En la fase de recopilación de datos se requieren criterios para medir la calidad, confiabilidad y veracidad de la información que formará parte de la evaluación y análisis de riesgo obtenida a través de la web por medio de internet o por documentación existente como estudios de investigación, informes y análisis técnicos, planos constructivos, bitácoras o registros de información, entre otros, o también en bases de datos, fotografías, videos, reportajes, artículos e, incluso, considerar el conocimiento local de las comunidades.

Acorde con la norma ISO 14091 Adaptation to climate change – Guidelines on vulnerability, impacts and risk assessment, para asegurar la calidad de los datos, se requieren los siguientes controles:

En el caso de datos cuantitativos:

- Calidad y formato de los datos y legibilidad de los archivos
- Cobertura espacial y temporal
- Valores faltantes o valores atípicos en los datos
- En el caso de los datos cualitativos:
- Representación de los puntos de vista de las partes interesadas
- Interpretación correcta de palabras o términos (puede variar entre lenguajes o regiones)

Dado que la calidad de los datos y de la información están directamente relacionadas con la capacidad de satisfacer las necesidades de los usuarios y de las partes interesadas a nivel nacional e internacional, la normativa y las diversas metodologías que enmarcan los sistemas de gestión de calidad, señalan seis características que deben cumplir los datos:

- **Validez:** los datos deben ser sólidos, correctos y objetivos
- **Precisión:** los datos deben ser precisos y con una desviación estándar aceptable (con

una incertidumbre dentro de los parámetros establecidos)

- **Coherencia:** los datos deben funcionar sin importar dónde se almacenan o procesan
- **Relevancia:** los datos deben ser oportunos, actuales y apropiados para el uso requerido
- **Integridad:** los datos deben estar completos y depurados
- **Accesibilidad:** los datos deben estar disponibles para su uso inmediato

Para evaluar la robustez de la información de base y su apego a las seis características anteriores, se consideran los siguientes cuatro aspectos:

i.Confiabilidad de la fuente: se debe considerar la procedencia de los datos obtenidos. En cuanto a la información de internet, es necesario verificar si proviene de páginas oficiales de instituciones u organizaciones relacionadas con el tema, de artículos académicos, científicos o de prensa digital. En cuanto a la documentación existente o información local de las comunidades o usuarios, se debe investigar su origen (documento, datos o testimonio). En ambos casos, para mayor confiabilidad se debe verificar la información mediante un control cruzado de distintas fuentes.

ii.Relevancia: se debe considerar la importancia del proyecto para establecer el nivel de robustez deseado de la información. El equipo de trabajo y el propietario de la infraestructura deben definir el nivel de relevancia deseado para delimitar cuál es el tipo de información que utilizarán en el estudio.

iii.Cantidad y exactitud de datos: se debe considerar el grado de incertidumbre de los datos, por ejemplo, los incluidos dentro de los servicios climáticos requieren que se determine su frecuencia, su control de calidad y la cantidad de años de registros. Por su parte, en cuanto a los modelos utilizados es necesario identificar la cantidad y calidad de las incertidumbres inherentes a los procesos de estimación, entre otros criterios.

iv.Zona de influencia: se debe obtener información en la zona de influencia del estudio, pues cuanto más cercana sea la fuente de los datos al sitio de la infraestructura, más representativa será la información.

1.8.2 Criterios de robustez

De acuerdo con la metodología, para detectar si los datos o la información recopilada cumple con las necesidades y expectativas planteadas sobre su calidad, se deben considerar los siguientes criterios en el análisis de robustez:

i.Período de registro. Cantidad de años de registro con que se cuenta, que puede estar indicada en diferentes frecuencias (minutos, horas, días, etc.).

ii.Radio de influencia. Distancia máxima en la que los datos o la información cumplen plenamente con las expectativas o necesidades del usuario, medido a partir de la coordenada de origen del dato. A mayor distancia hasta la infraestructura, mayor es la incertidumbre asociada.

iii.Resolución. Tamaño de la cuadrícula con la que se construyen los modelos de predicción para el cambio climático correspondientes a los modelos de circulación global (GCM por sus siglas en inglés) con cuadrículas de 100 km y 200 km o modelos climáticos regionales (RCM por sus siglas en inglés) con cuadrículas entre 25 km y 50 km.

iv.Metodología de obtención de los datos o de la información. La información puede ser cualitativa (indirecta) o cuantitativa (con mediciones directas), o una combinación de los dos métodos anteriores. Las mediciones directas que cumplan con las características de calidad mencionadas previamente, tendrán mayor confiabilidad que los datos obtenidos a través de métodos indirectos.

v. Evidencia del impacto. Corresponde a la validación mediante la cual se confirma el impacto de los parámetros climáticos en la infraestructura. Ocasionalmente, solo se dispone de los registros de daños o desastres, o del conocimiento local de la comunidad para validar las suposiciones requeridas en el aná-

lisis de riesgo y para la evaluación de los impactos del cambio y la variabilidad climática en la zona donde se realiza el estudio. Sin embargo, se debe tratar de confirmar o validar dichos testimonios a través de registros, medios escritos, redes sociales e investigaciones validadas por las partes.

Tabla 5
Criterios de robustez propuestos para la medición del nivel de confianza de la información

Criterio	Parámetros de calidad de la información	Nivel de confianza (N _i)	Peso (%)
1. Período de registro	1 a 10 años	1	20%
	11 a 30 años	2	
	> 30 años	3	
2. Radio de influencia		1	20%
	5 km a 50 km	2	
	< 5 km	3	
3. Resolución		1	20%
	25 km a 100 km	2	
	< 25 km	3	
4. Metodología para la obtención de datos		1	20%
	Mixto	2	
	Directo (por medición)	3	
5. Evidencia de impacto	Testimonios sin confirmación	1	20%
	Validación con medios escritos, redes sociales e investigaciones o con registros	2	
	Validación con medios escritos, redes sociales e investigaciones y con registros	3	

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 5 muestra los criterios mencionados con una puntuación asociada a un nivel de confianza propuesto con base en los datos de categorización de calidad de la información.

De acuerdo con la Tabla 5, la robustez se determina por la combinación de los niveles de confianza individuales de cada criterio y, en cada uno, se cuenta con tres niveles de confianza con puntajes de 1 a 3, siendo 1 la calificación más baja y 3 la

óptima. Para combinar la puntuación individual y obtener una calificación general de la robustez de los datos y de la información, se usa una ponderación de los niveles de confianza obtenidos con el peso porcentual definido para cada uno de los cinco criterios (cuya sumatoria será un 100 %). En el caso de la Tabla 5, se ha seleccionado un valor de 20% para cada criterio, a manera de sugerencia. Esta equidad en la ponderación permite mantener un equilibrio en la relevancia de cada uno

de los criterios; sin embargo, el equipo de trabajo, con el aval del propietario de la infraestructura, podrá cambiar el valor al peso ponderado (%i), para dar mayor peso o relevancia a alguno de los criterios en específico, siempre y cuando tal variación sea debidamente justificada.

De esta manera, se tiene que la robustez de los datos y de la información, r, está dada por la Ecuación 1:

Donde,
Ni: nivel de confianza obtenido para cada criterio
%i: peso porcentual utilizado para cada criterio
En la Tabla 6 se muestra la calificación final propuesta para la robustez r.

Tabla 6
Clasificación de la robustez de los datos y de la información

Robustez (r)	Calificación final
≤1,0	Muy bajo
>1,0 y ≤ 1,5	Bajo
> 1,5 y ≤ 2,0	Medio
> 2,0 y ≤ 2,5	Alto
> 2,6 y ≤3,0	Muy alto

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 2
ANÁLISIS DE RIESGOS



Para efectos de esta metodología, la definición de riesgo se basa en el artículo 4 de la Ley General de Emergencia y Prevención de Riesgo No. 8488:

“Riesgo es la probabilidad de que se presenten pérdidas, daños o consecuencias económicas, sociales o ambientales en un sitio particular y durante un periodo definido. Se obtiene al relacionar la amenaza con la vulnerabilidad de los elementos expuestos.”

Con base en la definición anterior, es importante entender que solo existirá riesgo en la infraestructura si al mismo tiempo hay interacciones (exposición) entre los componentes físicos de la misma (vulnerabilidad) y el clima (amenaza). A partir de los resultados de identificación y evaluación del riesgo, se establecen las estrategias para su manejo y reducción mediante propuestas de medidas de adaptación.

De esta manera, en esta metodología el proceso para el análisis de riesgo se basa en el esquema conceptual del riesgo climático establecida por IPCC (2014), según Ecuación 2:

Ri = A x E x Vi

Donde
Ri: Nivel de riesgo obtenido para cada tipo de vulnerabilidad
A: Amenaza como probabilidad de ocurrencia del parámetro climático
E: exposición de la infraestructura a la amenaza
Vi: criterios de vulnerabilidad estructural, funcional, operacional u otros.

La evaluación de los riesgos determinará cuáles son los factores que potencialmente tendrán mayor efecto sobre la infraestructura en análisis, tanto en la actualidad (línea base del clima), como sus consecuencias de acuerdo con las proyecciones de cambio climático (cli-

ma futuro), en los casos en los que los escenarios demuestren variaciones importantes en los parámetros climáticos identificados.

2.1 Identificación de la amenaza

Para efectos de esta metodología, como se indicó anteriormente, la amenaza está relacionada con los parámetros climáticos identificados que hayan causado o puedan llegar a causar un daño, lesiones o pérdidas a la infraestructura en análisis.

La amenaza se determina como la probabilidad de ocurrencia del parámetro climático. La contingencia se puede definir de manera cuantitativa para los casos en los que se cuenta con datos históricos o estadísticos y se determina mediante un análisis de frecuencia de estos eventos en el período de tiempo establecido para la evaluación. Cuando no se cuente con información de respaldo, aplica el criterio profesional o experto para

definir la probabilidad desde un punto de vista cualitativo objetivo.

Mediante la Ecuación 3 se determina el valor de la frecuencia de los eventos climáticos.

$$\text{Frecuencia de eventos climáticos} = \frac{\text{Número de eventos}}{\text{Número total de registros}}$$

Una vez obtenido el valor de la frecuencia del parámetro climático o se estima su probabilidad aplicando el criterio experto; en ese caso, se debe utilizar la matriz de puntuación que se muestra en la Tabla 7. Cualquiera que sea el método utilizado para determinar la probabilidad del parámetro climático, el puntaje de asignación está entre un rango estandarizado de 1 a 5. Una puntuación de 1 significa que el suceso climático posee baja probabilidad de ocurrir, mientras que una puntuación de 5 implica que el evento ocurrirá con recurrencia durante la vida útil de la infraestructura.

Tabla 7
Puntajes según probabilidad de ocurrencia de parámetros climáticos

Puntuación de probabilidad	Categorización	Rango (frecuencia de ocurrencia por año)
1	Muy baja probabilidad	7 % 2 veces en 30 años
2	Baja probabilidad	25 % 8 veces en 30 años
3	Ocasional	50 % 15 veces en 30 años
4	Frecuente	75 % 22 veces en 30 años
5	Casi certero	>99 % 1 vez por año

Fuente: Elaboración propia



2.1.1 Probabilidad histórica de parámetros climáticos (línea base del clima)

El análisis de riesgo incluye determinar la probabilidad de ocurrencia de un evento meteorológico o climático, identificado como parámetro climático, en el clima histórico o de línea base. Es importante indicar que el período de análisis del clima histórico, en la medida de lo posible, debe ser de 30 años o, al menos, de 20 años. Si no se tienen datos históricos o estadísticos, se determina la probabilidad de ocurrencia mediante criterio profesional o experto, basándose en la escala de caracterización cualitativa de la Tabla 7.

2.1.2. Probabilidad futura de parámetros climáticos (clima futuro)

Una vez que se tenga el resultado de la probabilidad de la línea base del clima o clima histórico, se proyecta a un horizonte de tiempo en el futuro, el que se establece con base en la vida útil y ciclo de vida de la infraestructura. La proyección futura de los parámetros climáticos se basa en criterio experto, tomando como referencia los resultados de tendencia de los modelos de proyección climáticos, así como los resultados de investigaciones de proyección futura de variables y fenómenos climáticos publicados y validados. Es importante considerar que los modelos de circulación general proveen información de posibles cambios en el clima y variabilidad climática para cada 30 años, específicamente 2020, 2050 y 2080, de acuerdo con una línea base correspondiente al período 1961-1990.

En estos periodos, el equipo de trabajo definirá el plazo correspondiente para el análisis del clima futuro.

2.1.3. Análisis de robustez de información de parámetros climáticos

Este análisis se debe realizar con base en los criterios establecidos en la sección 1.8 de esta herramienta metodológica.

2.2 Identificación de la exposición

La exposición se verifica mediante un proceso de interacción que permite, primeramente, identificar cuáles componentes de la infraestructura tienen probabilidad de ser vulnerables a los efectos de los parámetros climáticos identificados como amenaza.

Durante el análisis de la interacción, se requiere una evaluación de las expectativas de desempeño estructural, funcional, operacional y otras exigencias de la infraestructura; a su vez, este proceso demanda criterios profesionales del equipo evaluador, información del propietario, operarios y personal de mantenimiento, así como información de campo entre otras circunstancias.

En esta valoración se utiliza un sistema binario con respuestas 0 (sin posibilidad de interacción) o 1 (si la interacción es posible). En aquellos casos en los que el equipo de trabajo no logre decidir con certeza si la interacción es o no posible, se deberá escoger un valor de 1.

Una vez efectuadas las interacciones con cada uno de los parámetros climáticos seleccionados y con cada componente, se deben eliminar del estudio todas las interacciones nulas (respuesta 0) y se continúa el análisis de las interacciones con resultado 1.

2.3. Identificación de la vulnerabilidad

Este análisis permite determinar cómo reacciona cada uno de los componentes de la infraestructura a la carga impuesta por cada uno de los parámetros climáticos.

Considerando el supuesto de que se materialicen las amenazas que se evalúan según los parámetros climáticos definidos, se debe establecer una calificación que permita valorar el grado de afectación que sufrió o podría sufrir la infraestructura.

En primera instancia se deben establecer los criterios de vulnerabilidad, los cuales se refieren a

la afectación en el servicio que brinda la infraestructura. Posteriormente, el equipo de trabajo deberá determinar una cuantificación para el grado de vulnerabilidad, según una escala predeterminada.

2.3.1. Definición de criterios de vulnerabilidad

La vulnerabilidad tiene un carácter específico, según el tipo de amenaza o perturbaciones que influyen en el sistema (infraestructura, entorno socioeconómico y natural). A continuación, se muestra una lista base de los principales criterios de vulnerabilidad que se deben considerar en el análisis. Debido a que la vulnerabilidad alude a las características del sistema estructural, su exposición y capacidad adaptativa, el equipo de trabajo podrá modificar la interpretación de los criterios con las justificaciones del caso.

i.Estructural

Se refiere a la afectación directa de los componentes que conforman la infraestructura. Se debe evaluar la integridad del conjunto, si los materiales y el sistema estructural se han comportado como se previó en el diseño o si, por el contrario, han fallado o podrían hacerlo por un desperfecto, avería o la propia solicitud impuesta por el parámetro climático.

ii.Funcional

Implica un grado determinado de interrupción temporal del servicio que brinda la infraestructura, pero no se requiere ninguna intervención para reanudarlo.

Es factible que la función u operación de la infraestructura no se pueda desarrollar parcial o totalmente, aun cuando los materiales y el sistema estructural se encuentren en un estado aceptable para seguir brindando el servicio.

iii.Operacional

Implica un grado determinado de intervención de la estructura para garantizar la continuidad del servicio que brinda.

iv. Otros.

Si el equipo de trabajo lo considera pertinente, pueden incorporarse otros criterios de impacto, por ejemplo, económicos, salud pública, seguridad, ambiente, entre otros.

2.3.2. Escala de vulnerabilidad

El concepto de vulnerabilidad se relaciona con la afectación, daño o pérdida ocasionada a la infraestructura o proyecto durante un evento climático específico. Mayor vulnerabilidad implica más daño a la infraestructura o a la capacidad de brindar el servicio para el cual fue diseñada y construida.

Se debe destacar que los procesos de asignación de puntaje de vulnerabilidad no son cálculos numéricos. Por el contrario, corresponden a un ejercicio de evaluación participativo, fundamentado en criterios profesionales con base en el conocimiento técnico, la experiencia del equipo de trabajo, la retroalimentación con el personal de operación, mantenimiento, administración y propietario de la infraestructura, e, incluso, la consulta a la sociedad civil que conforma el entorno inmediato de la comunidad. La interpretación y participación de todas estas partes son un complemento indispensable para una adecuada puntuación de vulnerabilidad, ya que son quienes tienen experiencia y conocimiento en el uso y manejo desde el punto de vista funcional y operacional de la infraestructura. Por otro lado, los profesionales en ingeniería proveerán el detalle de funcionamiento desde la perspectiva de las condiciones de diseño, capacidad funcional y construcción.

El equipo de trabajo debe elaborar una descripción detallada y específica de lo que implica cada puntaje de vulnerabilidad en términos estructurales, funcionales y operacionales, así como de otros criterios en caso de que se decida incorporarlos. El establecimiento de rangos permite clasificar con mayor facilidad cada afectación a la infraestructura.

Una vez definidos los criterios anteriores, se re-

Tabla 8
Categorización cualitativa de los puntajes de vulnerabilidad

Puntaje	Vulnerabilidad
1	Muy baja
2	Baja
3	Moderada
4	Alta
5	Muy alta

Fuente: Elaboración propia

quiere categorizar cada nivel de afectación en un rango numérico de vulnerabilidad, que permita establecer las consecuencias que sufrió o podría sufrir cada componente de la infraestructura analizada debido a los efectos del clima

En la Tabla 8 se propone una escala cualitativa de cinco niveles de vulnerabilidad a los cuales se les asigna un puntaje con la siguiente distribución:

Cuando se asignan puntajes de vulnerabilidad, no se debe suponer que la opinión de la mayoría es correcta. En ocasiones, un solo individuo podría tener la experiencia práctica determinante que permita establecer un puntaje de vulnerabilidad acertado.

Para asignar los puntajes de vulnerabilidad se deben revisar y fijar los puntajes tanto para el periodo presente como para el escenario futuro. Es posible que conforme pasa el tiempo, los supuestos tomados como base para el análisis cambien. Por ejemplo, las prácticas de operación y mantenimiento o la demanda poblacional, incluso el impacto de un evento meteorológico en particular podría ser diferente en la línea base y en las condiciones proyectadas para el futuro, por lo cual, tales valores no necesariamente permanecerán constantes a lo largo del tiempo de la evaluación.

Este cambio potencial en la vulnerabilidad se debe tomar en cuenta sin importar cuál sea la calificación de la probabilidad climática. En cualquier caso, el equipo de trabajo debe considerar cómo las condiciones presentes y futuras difieren, no solo climáticamente, sino también desde la perspectiva de los usuarios del servicio y de su capacidad de respuesta.

2.3.3 Análisis de robustez de información de vulnerabilidad

Este análisis se debe realizar con base en los criterios establecidos en la sección 1.8 de esta herramienta.

2.4. Umbrales de tolerancia al riesgo

Con el fin de priorizar el manejo del riesgo se establecen límites de tolerancia. El objetivo de una evaluación de riesgo es determinar cuáles son las afectaciones que impiden mantener el servicio que brinda la infraestructura; por lo tanto, es necesario definir los niveles de riesgo que se abordarán primero, considerando la capacidad de gestión de las diferentes medidas de adaptación.

Estos umbrales de tolerancia del riesgo deben ser definidos con base en las consideraciones de probabilidad de ocurrencia de los parámetros climáticos y el nivel de vulnerabilidad de los activos que se analizan. La labor del equipo de trabajo será de acompañamiento, pues será el propietario de la infraestructura quién definirá los umbrales de tolerancia al riesgo. Una vez definido este rango, se propondrán las medidas que se aplicarán.

En la Tabla 9 se muestra una propuesta para el mapa de calor que resultará de la evaluación de los riesgos enmarcado por los umbrales de tolerancia. De esta manera, se busca facilitar la comprensión del proceso de sistematización de las interacciones, así como el abordaje de la priorización y gestión de los riesgos.

Tabla 9
Propuesta para mapa de calor

Vulnerabilidad	Muy alta	5	10	15	20	25
	Alta	4	8	12	16	20
	Moderada	3	6	9	12	15
	Baja	2	4	6	8	10
	Muy baja	1	2	3	4	5
		Muy baja	Baja	Ocasional	Frecuente	Casi certero
Probabilidad (Amenaza)						

Fuente: Adaptado de Climate Lens

La definición de los umbrales de tolerancia al riesgo permite clasificarlo según su nivel y las acciones requeridas para su debida atención por

medio de un código de colores. La Tabla 10 ofrece una propuesta para la definición de esos umbrales.

Tabla 10
Propuesta para umbrales de tolerancia del riesgo

Riesgo	Umbral	Acción requerida
Despreciable	< 3	Ninguna.
Bajo	3 - 6	De baja importancia.
Moderado	5 - 9	Necesaria para reducir riesgos a niveles menores.
Alto	10 - 16	Con alta prioridad.
Extremo	>16	Inmediata.

Fuente: Adaptado de Climate Lens

Nota: el traslape que se presenta en los casos de riesgo con valor 5, así como los espacios divididos por una diagonal en el mapa de calor propuesto en la Tabla 9, corresponden a casos especiales, los cuales serán abordados en la sección 3.2.

2.5. Cálculo de riesgo: amenaza, exposición y vulnerabilidad

Una vez definidas las probabilidades de ocurrencia de los parámetros climáticos identificados como amenaza, las interacciones posibles entre los componentes de la infraestructura, los eventos climáticos y el grado de vulnerabilidad de la infraestructura, se generan las matrices de riesgo. Tal como se definió en la ecuación 2, el valor del riesgo se obtiene al multiplicar la puntuación de la amenaza (A) por la exposición (E) por la vulnerabilidad (V), ya sea esta última de tipo estructural (e), funcional (f), operacional (o) o de otro tipo, según el caso.

Es importante señalar que la matriz debe ser una

herramienta flexible que evalúe de manera integral los riesgos. La tabulación de la información será el resultado de un taller de consulta entre el equipo de trabajo, el propietario de la infraestructura, personal de operación y mantenimiento e, incluso, personas de la comunidad. Todas estas partes interesadas puedan aportar su conocimiento y experiencia para enriquecer tanto las discusiones como los resultados esperados.

De la aplicación del proceso metodológico, se obtienen dos matrices: una de riesgo para el clima actual y otra para el clima futuro, ambas aplicaciones siguiendo el mismo procedimiento. En la Tabla 11 se muestra una propuesta de formato de la matriz para la sistematización de los valores de cada variable y el cálculo del riesgo.

Las matrices generadas y el mapa de calor resultante de la clasificación preliminar de los riesgos a partir de los umbrales previamente definidos son los principales insumos del equipo de trabajo para la evaluación de los riesgos y la identificación de las medidas de adaptación. El procedimiento para lograrlo se presenta a continuación, en el Capítulo 3.

Tabla 11
Propuesta para matriz de riesgo

Componente de la infraestructura	Parámetro climático 1								Parámetro climático 2								Parámetro climático 3							
	E	A	Ve	Vf	Vo	Re	Rf	Ro	E	A	Ve	Vf	Vo	Re	Rf	Ro	E	A	Ve	Vf	Vo	Re	Rf	Ro
Componente 1																								
Componente 2																								
Componente 3																								
Componente 4																								
Componente n																								

Fuente: Elaboración propia

Donde los parámetros se definen como:

- E = Exposición
- A = Amenaza
- Ve = Vulnerabilidad estructural
- Vf = Vulnerabilidad funcional
- Vo = Vulnerabilidad operacional
- Re = Riesgo estructural
- Rf = Riesgo funcional
- Ro = Riesgo operacional



CAPÍTULO 3
EVALUACIÓN DE RIESGOS Y MEDIDAS DE ADAPTACIÓN

Los riesgos se identifican y categorizan según su nivel a partir de los resultados de cada matriz de riesgo, como base técnica del proceso de toma de decisiones para su priorización y gestión.

En esta sección se explicará cómo realizar la clasificación de los riesgos y en qué consisten los casos especiales; además, se indica cómo descartar los que no requieren ser gestionados y, finalmente, la utilización de todos los elementos anteriores para construir el perfil de riesgos y el de adaptación.

3.1 Clasificación de riesgos

Una vez que se ha realizado el análisis de los riesgos, se deben revisar los resultados entre el equipo de trabajo y el propietario de la infraestructura con el fin de validar y comparar los resultados preliminares con los umbrales de tolerancia establecidos en la sección 2.4.

Existe la posibilidad de que se presente una discusión sobre una nueva asignación de los puntajes de vulnerabilidad y amenaza asignados a cada interacción. En caso de existir un acuerdo entre las partes, el equipo de trabajo puede revisar nuevamente los puntajes a partir de un análisis objetivo derivado del primer ciclo de aplicación de la metodología. La experiencia en diversas aplicaciones de metodologías similares señala que no es extraño que, en este punto, el equipo de trabajo deba ajustar puntajes o los umbrales de tolerancia al riesgo con base en dicha revisión. En algunas ocasiones, al finalizar el análisis, el propietario de la infraestructura detecta que el riesgo asociado a algunas de las interacciones entre la infraestructura y los parámetros climáticos no refleja un

resultado acorde con la realidad, en cuyo caso es recomendable una reanálisis de la matriz, previo a la evaluación de los riesgos.

Posterior a la revisión y validación consensuada de las matrices, en primera instancia, se agrupan las interacciones de acuerdo con los umbrales de tolerancia al riesgo establecidos, separando los resultados para clima actual y clima futuro.

La Tabla 12 brinda una sugerencia que puede ser utilizada por el equipo de trabajo para resumir la información. Se deberá indicar la cantidad de interacciones, los parámetros climáticos, los componentes de infraestructura involucrados en esas interacciones, y finalmente los criterios de vulnerabilidad definidos. Esto permitirá visualizar la evolución de los riesgos entre el escenario climático actual y la proyección a futuro.

Tabla 12
Clasificación de riesgos de acuerdo con su nivel

Riesgo	Cantidad de interacciones		Parámetro climático	Componente de infraestructura afectado	Criterio de vulnerabilidad
	Clima actual	Clima futuro			
Despreciable					
Bajo					
Moderado					
Alto					
Extremo					
Casos especiales					
TOTAL					

Fuente: Elaboración propia

Antes de la siguiente fase, la Tabla 12 debe revisarse junto con el propietario de la infraestructura con el fin de asegurar, principalmente, la validez de los factores asociados a la determinación de riesgos moderados, altos y extremos y llegar a un consenso para avanzar hacia la siguiente etapa del estudio.

3.2 Evaluación de casos especiales

Los casos especiales en los resultados de la matriz de riesgos están asociados a dos condiciones posibles:

- i. Eventos de choque (shock): interacciones con vulnerabilidad muy alta, pero con muy

baja probabilidad de ocurrencia. Son situaciones atípicas o de rara ocurrencia con un inicio repentino o rápido, capaces de causar un impacto agudo (extremo) a la infraestructura.

- ii. Eventos de estrés: interacciones de vulnerabilidad muy baja con muy alta probabilidad de ocurrencia. Se definen como situaciones que se presentan con frecuencia o con un inicio progresivo o lento capaces de causar un impacto crónico (constante en el tiempo).

Tal y como se mencionó en la sección 2.4, estos casos especiales pueden causar un posible traslape de los umbrales de tolerancia al riesgo definidos previamente. Por ser condiciones extremas, las interacciones en estas categorías se encuentran





en las esquinas del mapa de calor. Para su evaluación, el equipo de trabajo debe enlistar y agrupar las interacciones que se consideran casos especiales de acuerdo con los riesgos asociados. Si el propietario de la infraestructura considera que estas interacciones no son relevantes para el estudio, el equipo podrá excluirlas de la evaluación, justificando y documentando la decisión. Tanto para los eventos de choque como para los de estrés, el equipo debe determinar, junto con el propietario de la infraestructura, si en el pasado tal situación se ha presentado y si se tienen procedimientos o guías específicas para atender una contingencia de ese tipo. En caso de que los procedimientos o guías no existan, se debe valorar si es necesaria o no su creación como una posible medida de adaptación para gestionar el riesgo.

3.3 Reanálisis y depuración de interacciones

Después de realizar el análisis de las diferentes interacciones obtenidas durante la construcción de las matrices, el listado final de los riesgos encontrados se depura. Todas aquellas interacciones que el equipo considere que no requieren una conclusión o recomendación que implique una acción de manejo o gestión del riesgo o la implementación de medidas de adaptación, deben descartarse del análisis. Entre de los fundamentos para descartarse pueden citar los siguientes:

- interacciones con riesgo muy bajo
 - interacciones con riesgo moderado que no contribuyen al patrón general del riesgo
 - interacciones clasificadas como casos especiales, pues han sido atendidas o no requieren medidas adicionales en el momento del análisis.
- Por otra parte, existe la posibilidad de que algunos de los riesgos identificados necesiten estudios, análisis o evaluaciones adicionales, lo cual está fuera del alcance del estudio en ejecución, ya sea por cronograma, por presu-

puesto o por alguna otra razón específica. Estos casos normalmente incluyen las siguientes situaciones:

- interacciones que requieren datos adicionales, los cuales no se pueden conseguir dentro del cronograma o presupuesto destinado a la evaluación de riesgo
- eventos climáticos contemplados en el análisis, los cuales, en principio, contribuyen a aumentar el riesgo de la infraestructura, pero, según el equipo de trabajo o el mismo propietario, se requiere entender mejor los factores que contribuyen a su generación y al aumento de los riesgos identificados
- áreas en las cuales el patrón de riesgo identificado se podría gestionar mediante el desarrollo o modificación de códigos, normativa, legislación, lineamientos, procedimientos o cualquier otro elemento que no puede ser atendido en la ventana temporal bajo la cual se ejecuta el estudio
- interacciones clasificadas como casos especiales que requieren una mejor definición que no se puede resolver dentro del presupuesto o cronograma de la valoración actual
- otros asuntos que el equipo de trabajo o el propietario de la infraestructura considere relevantes.

Tanto para el caso del descarte de las interacciones como para aquellas que requieran análisis posteriores, es importante que el equipo de trabajo justifique el porqué de la decisión tomada, con el fin de brindar un criterio técnico y un respaldo objetivo y confiable de la acción.

3.4. Perfil de riesgos

La integración de la información resultante en un perfil de riesgos es importante para facilitar su proceso de visualización y la toma de decisiones derivada de la evaluación.

La apropiada construcción del perfil de riesgos es fundamental para la siguiente fase, que corres-

ponde a la gestión del riesgo. Las eventuales omisiones o errores en los cuales se incurra durante el establecimiento de ese perfil repercutirán directamente sobre las interacciones infraestructura clima, que fueron evaluadas equivocadamente, de modo que afectarán la adaptación al cambio climático de la infraestructura y del servicio que brinda a la comunidad.

Los elementos para la construcción del perfil general de riesgos se proponen en la Tabla 13. En ella se puede tabular la información requerida y las celdas correspondientes a cada escenario climático (clima actual y clima futuro) responden al código de colores establecido de acuerdo con el nivel de riesgo según la escala definida por el equipo de trabajo. Así, en la tabla se presentan las

interacciones entre infraestructura y clima para los niveles de riesgo, incluyendo la escala total definida por el equipo de trabajo, desde riesgos despreciables hasta los extremos.

Esta opción ofrece un panorama amplio, pues al incluir todas las interacciones, la tabulación se convierte en un mapa de calor general del análisis realizado. Se debe indicar para cada parámetro climático y su respectivo umbral, la información que señale cuáles son los componentes de infraestructura afectados, cuál es el impacto sobre cada componente y los criterios de vulnerabilidad involucrados (estructural, funcional, operacional u otro), así como el nivel de riesgo correspondiente, tanto en el escenario de clima actual como en el escenario de clima futuro.

Tabla 13
Perfil general de riesgos

Parámetro climático y umbral	Componentes de infraestructura afectados	Impacto	Niveles de riesgo por criterio de vulnerabilidad		
			Clima actual	Clima futuro	
1.					
2.					
3.					
Niveles de riesgo					
	Extremo	Alto	Moderado	Bajo	Mínimo

Fuente: Elaboración propia

En caso de que el equipo de trabajo considere necesario centrarse solamente en aquellos riesgos ubicados en los niveles extremos, altos y moderados, se podrá utilizar el mismo procedimiento para completar la Tabla 13, pero suprimiendo las interacciones relativas a los riesgos bajos o mínimos.

Por otro lado, independientemente de que el equipo decida usar el perfil de riesgos sugerido en la Tabla 13 o cualquier otra combinación que considere aplicable, se puede agregar una columna con el nivel de robustez asociado a cada interacción del perfil. Esto permite visualizar la relación entre el nivel de riesgos y la robustez de la información que llevó a determinar tal clasificación, lo cual es importante, principalmente en aquellas interacciones que requerirán tomar acciones para la gestión del riesgo y es relevante para los propietarios de la infraestructura, así como para los tomadores de decisión.

3.5 Adaptación basada en gestión del riesgo

Con el fin de que el equipo de trabajo y el propietario de la infraestructura puedan plantear soluciones de manera eficaz y eficiente, alineadas con la normativa vigente y con las tendencias a nivel mundial, se brindan algunos lineamientos y conceptos básicos sobre la adaptación basada en gestión del riesgo.

3.5.1 Gestión del riesgo

En el contexto de esta metodología, la gestión de riesgos se puede definir como el proceso mediante el cual, después de la fase de identificación, análisis y evaluación de los riesgos, se toman decisiones para generar acciones concretas con el objetivo de crear, mantener o fortalecer la resiliencia de las comunidades. La teoría de gestión de riesgos, así como diferentes políticas y procedimientos existentes alrededor del tema señalan que existen cinco posibles decisiones que se pueden tomar en torno al riesgo.

• **Tolerar:** acción de aceptar el riesgo sin que exista la necesidad de tomar acciones más allá de la aceptación. Esto puede deberse a dos posibles razones, la primera, porque, eventualmente, el propietario de la infraestructura, al evaluar el riesgo, está dispuesto a absorberlo en caso de que se materialice y, la segunda razón podría ser porque, aunque el riesgo no sea tolerable, las acciones que el propietario tome tendrían un costo excesivo en relación con el retorno del beneficio de las posibles acciones por aplicar. En cualquiera de los dos casos, las medidas de control que se implementen tienden a ser simplemente de detección.

• **Tratar:** cuando se decide tratar el riesgo se busca formular, seleccionar, planificar, implementar y evaluar medidas de tipo preventivo o correctivo con el fin de adaptarse al riesgo y preparar al propietario de la infraestructura para enfrentar los posibles eventos. Generalmente, el tratamiento del riesgo es un proceso que se repite muchas veces, de manera que después de la implementación de las medidas, se evalúa su eficacia y se mide el riesgo residual hasta alcanzar un nivel aceptable o tolerable para el propietario de la infraestructura. En ese momento, en caso de que el riesgo residual no sea aceptable, se deberán formular e implementar tratamientos adicionales y el ciclo se inicia de nuevo.

• **Transferir:** consiste en la transferencia del riesgo a un tercero de manera parcial o total. En algunas ocasiones esta es la mejor opción, por eso, se dice que es una acción del tipo preventivo. El riesgo se transfiere, por ejemplo, a través de la adquisición de seguros con empresas dedicadas al tratamiento de riesgos.

• **Terminar (o eliminar):** la eliminación de un riesgo requiere de controles sumamente eficaces; para ello se deben tomar acciones de tipo directivas que ayuden a evitar el elemento disparador, es decir, la causa del riesgo, razón por la cual la gestión no solamente debe ser la correcta, sino que no debe arriesgar ni el activo ni, mucho menos, el entorno inmediato.

• **Tomar ventaja:** es una tendencia de los últimos años, es como un quinto elemento en la gestión del riesgo. La acción de tomar ventaja se enmarca en el hecho de que expertos en materia de riesgos han señalado que existen no solo riesgos negativos, sino también positivos, de tal forma que estos últimos no se toleran, ni se tratan, ni se

transfieren, ni se terminan, sino que se toma ventaja de ellos para maximizar los beneficios que se podrían obtener.

En la Figura 2 se muestra un resumen de las posibles decisiones a tomar.

Figura 2
Resumen de posibles decisiones por tomar frente a un riesgo



Fuente: Elaboración propia



Con base en los conceptos anteriores y con fundamento en el perfil de riesgos, el equipo de trabajo debe definir junto con el propietario de la infraestructura, cuál será el tipo de gestión que se debe aplicar para determinar las medidas de adaptación. Todas las decisiones que se tomen al respecto deben quedar justificadas y documentadas en el informe.

3.5.2 Capacidad y medidas de adaptación

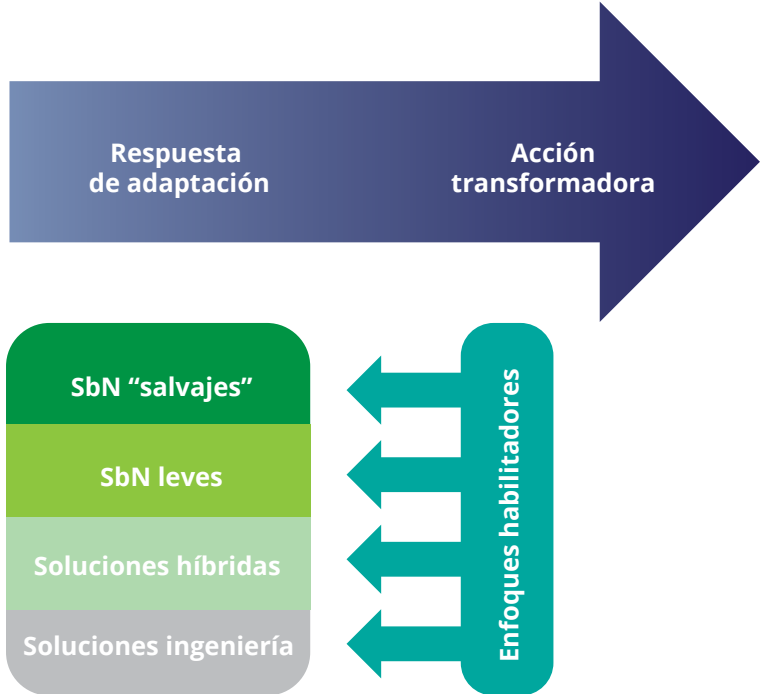
La capacidad de adaptación se puede definir como aquellas condiciones de los sistemas, las instituciones, los seres humanos y otros organismos para ajustarse ante potenciales daños y pérdidas, para aprovechar las oportunidades o para afrontar las consecuencias.

En los casos en los que el propietario de la infraestructura tenga ya implementado un sistema de gestión de riesgos corporativo, se recomienda adaptar MERCI al sistema correspondiente, con el fin de alinear la metodología con la estrategia corporativa. Tanto esta como otras metodologías similares tienen una flexibilidad tal que permiten efectuar ese proceso de adaptación con éxito. Por otro lado, en caso de que la metodología propuesta por MERCI permita mejorar el sistema de gestión de riesgo de la infraestructura del propietario, pueden realizarse los ajustes necesarios. Esto es parte de la mejora continua intrínseca de todo proceso.

El Decreto N°42465 “Lineamientos generales para la incorporación de las medidas de resiliencia en infraestructura pública” señala que la adaptación debe potenciar las condiciones de resiliencia de los sistemas económicos, sociales, ambientales, a escala regional, nacional y local, de forma medible, reportable y verificable. Así mismo, el alcance del decreto señala que la resiliencia de la infraestructura se debe obtener tanto con diseños que se adapten a la variabilidad climática, como con soluciones basadas en la naturaleza (SbN), considerando tanto los servicios ecosistémicos como la infraestructura verde. En consecuencia, se debe procurar una adaptación utilizando un pensamiento sistémico, comprendiendo la complejidad y la no linealidad del sistema, y las interconexiones que existen entre las soluciones “grises” con los otros sistemas que los rodean.

Aunque el abordaje detallado y específico de este tipo de soluciones está fuera del alcance de la metodología, se puede tomar como punto de partida el planteamiento del decreto citado, así el equipo de trabajo podrá aplicar la conceptualización planteada por el Programa Ambiental de las Naciones Unidas para agrupar las respuestas o medidas de adaptación por plantear, de acuerdo con una escala que va del espectro “gris”, que considera todas aquellas soluciones constructivas convencionales poco sostenibles, al espectro “verde”, que incluye soluciones que mejoran la capacidad de la naturaleza para facilitar bienes y servicios ecosistémicos, tales como agua o aire limpios. La Figura 3 ilustra lo descrito.

Figura 3
Escala de variación de las medidas de adaptación según el uso de los servicios ecosistémicos para responder a los impactos del cambio climático.



Fuente: UN Environmental Program, 2020

Como se puede observar, en la escala de la Figura 3, cuanto más se utilicen los servicios ecosistémicos para responder a los impactos del cambio climático, más “verde” será la medida de adaptación.

Las medidas basadas en ecosistemas ocupan la zona verde de la escala, que van desde medidas “leves” hasta “salvajes”. Por ejemplo, la estabilización de taludes mediante terrazo y plantación de árboles y plantas, se encuentra en la zona leve del espectro, mientras que la restauración de ecosistemas forestales naturales para estabilizar laderas y regular los ciclos hidrológicos está en la zona “salvaje” del espectro.

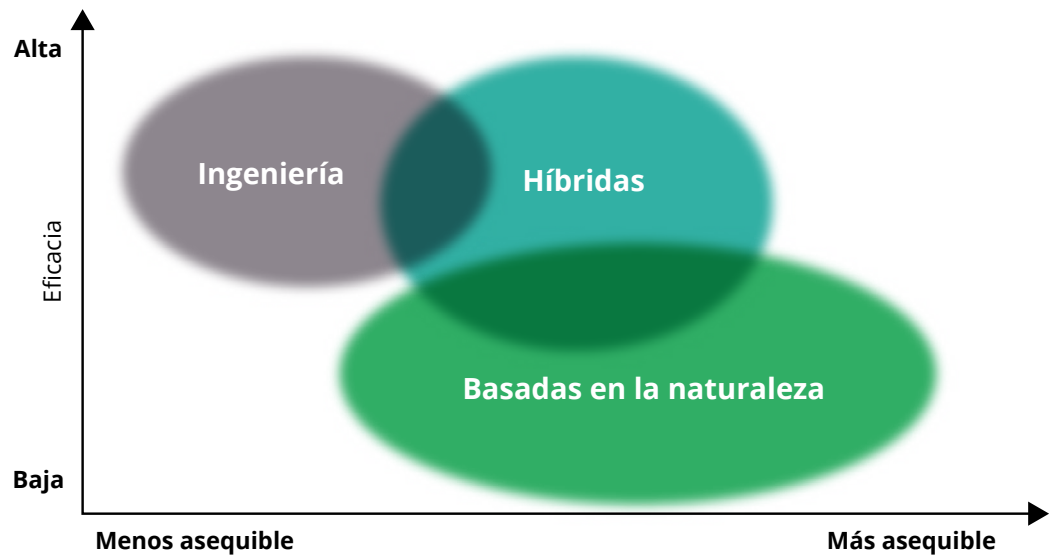
Los enfoques más grises corresponden a soluciones de ingeniería, tales como diques, represas, muros, pantallas ancladas; en esos casos, solamente se tendría infraestructura gris y tecnología de ingeniería. Sin embargo, puede existir un punto intermedio, que es precisamente al que hace referencia el Decreto N°42465, que corresponde a soluciones o medidas híbridas, entre las que se pueden mencionar los techos y muros verdes, y los arrecifes artificiales.

Al utilizar soluciones de ingeniería y soluciones basadas en la naturaleza de manera armónica, es posible potenciar las ventajas o reducir las limitaciones de usar solamente uno de los dos enfoques. Los enfoques híbridos no consisten

simplemente en tomar medidas “grises” y “verdes” y mezclarlas, a menudo implican el uso de enfoques de diseño innovador, que fusionan principios ecológicos con ingeniería y tecnología. Con los recursos y la experiencia necesaria, las solu-

ciones híbridas pueden proveer alternativas más eficaces que el uso separado de soluciones con enfoques “grises” o “verdes” con un costo intermedio entre ambos (ver Figura 4).

Figura 4
Relatividad entre eficacia y asequibilidad de soluciones de ingeniería, soluciones híbridas y soluciones basadas en la naturaleza.



Fuente: UN Environmental Program, 2020

El equipo de trabajo puede utilizar tanto la escala propuesta en la Figura 3 como el análisis de la Figura 4 para el planteamiento de las medidas de adaptación, como también para exponer al propietario la infraestructura que corresponde al enfoque habilitador que se usará en la propuesta de adaptación, así como el costo y la eficacia de tales medidas.

3.5.3 Perfil de adaptación

Como se indicó anteriormente, a partir del perfil de riesgos, el equipo de trabajo, junto con el pro-

prietario de la infraestructura, elaborará el perfil de adaptación que permitirá visualizar las medidas de adaptación propuestas.

Esta metodología pone a disposición del equipo de trabajo, una estructura base para construir un perfil de adaptación, que permite tabular las diferentes soluciones, medidas de adaptación y oportunidades propuestas, junto con diferentes factores que son relevantes para la toma de decisiones por parte del propietario de la infraestructura. El formato de presentación se expone en la Tabla 14.

Es importante destacar que el perfil puede ser tanto cualitativo como cuantitativo. Si, por ejemplo, el equipo de trabajo logra determinar las cantidades correspondientes a factores tales como el costo, la eficacia, el tiempo de implementación o los indicadores de monitoreo, el perfil sería cuantitativo. Si, por el contrario, no se pueden determinar con exactitud o certeza esos factores, se podría construir uno cualitativo. Tal sería el caso

de indicaciones de costos altos, medios o bajos, eficacia alta, media o baja, tiempos de implementación a corto, mediano o largo plazo, entre otros. En cualquiera de los dos casos, sea cuantitativo o cualitativo, el perfil de adaptación tiene el propósito de ayudar al propietario de la infraestructura a priorizar las acciones sobre las cuales puede empezar a trabajar.



Tabla 14
Perfil de adaptación propuesto.

	Parámetro climático y umbral		Componentes de infraestructura		Criterios de vulnerabilidad y niveles		Impacto	Consecuencia	Medidas de adaptación	Costo	Eficacia	Tiempo de implementación	Dificultad de implementación	Barreras de ejecución	Responsables de medidas	Partes interesadas o socios	Indicadores de monitoreo y seguimiento
	Clima actual	Clima futuro															
1.																	
2.																	
3.																	

Fuente: Elaboración propia

Existe una gran cantidad de guías y documentos que pueden ayudar al equipo de trabajo en el proceso de toma de decisiones en materia de adaptación al cambio climático y priorización de medidas. Tal es el caso de la guía de uso y difusión generada por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales de México, en alianza con GIZ y por encargo del BMU, llamada “Metodología para la Priorización de Medidas de Adaptación frente al Cambio Climático”, en la cual se establece una serie de pasos que ayuda a fijar criterios de priorización. Estas y otras herramientas Las podría utilizar el equipo de trabajo, principalmente, el propietario de la infraestructura para

complementar los resultados obtenidos a partir de MERCI, en caso de que lo considere necesario.

3.5.4 Monitoreo y seguimiento de las medidas de adaptación

Para efectos de monitoreo y seguimiento de las medidas de adaptación, el equipo de trabajo debe recomendar un sistema MRV (Medible, Reportable y Verificable) del perfil de adaptación que se pretende ejecutar. Los indicadores que se establezcan para tal fin se presentarán en la última columna de la Tabla 14.

Mediante el seguimiento del sistema MRV, el equipo de trabajo debe recolectar información de cada medida de adaptación planteada para estimar los indicadores planteados. A partir del seguimiento, se pueden comparar sistemáticamente los resultados obtenidos contra los esperados para verificar el cumplimiento de los objetivos planteados. En caso de que no se alcancen las expectativas esperadas, el equipo de trabajo debe iniciar un nuevo proceso de búsqueda de soluciones o alternativas.

A nivel mundial, existe diversidad de metodologías para formular sistemas MRV para planes de adaptación. Para el caso de Costa Rica, el decreto N°41127 – MINAE presenta la “Creación y operación del Sistema Nacional de Métrica de Cambio Climático” (SINAMECC), que es precisamente una herramienta para medir, reportar y verificar, entre otras cosas, las acciones de mitigación y adaptación, y se establecen diversos elementos de interés en cuanto al libre acceso a la información, generación de información para medición de progreso de las metas climáticas del país, guías y protocolos para el uso de la herramienta, entre otros.

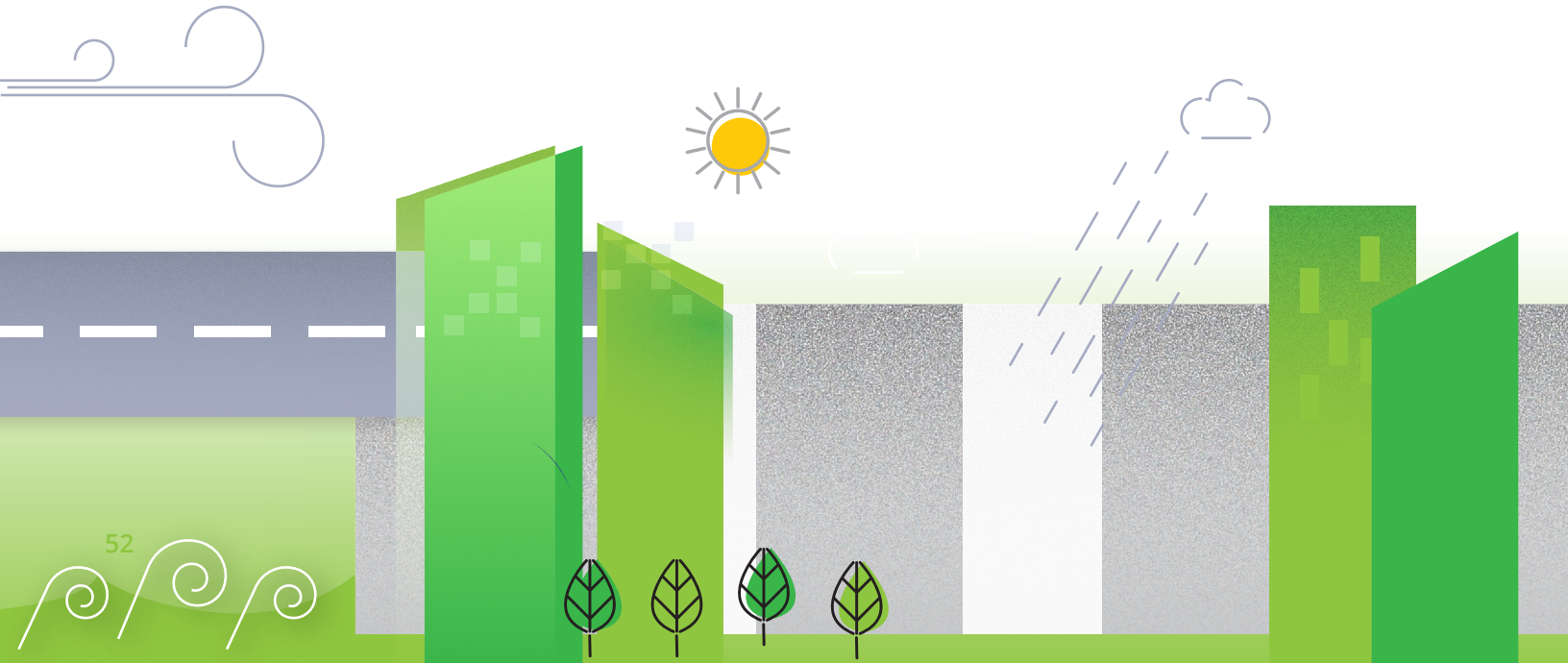
CAPÍTULO 4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El capítulo de conclusiones y recomendaciones debe exponer los elementos más importantes con respecto a la evaluación desarrollada. A continuación, se brinda una serie de recomendaciones fundamentales sobre los principales aspectos que deben incluirse en esta sección, con lo que se pretende guiar al equipo de trabajo hacia una redacción clara y concisa para ofrecer una lectura fluida y comprensible al lector.

4.1 Conclusiones

Las conclusiones del estudio deben contener aspectos que sintetizen los principales elementos de la investigación, incluyendo los resultados obtenidos.

- Así, se deben considerar como mínimo los siguientes puntos:
- i. Justificación sobre el grado de cumplimiento de cada uno de los objetivos del estudio.
 - ii. Comentarios sobre las limitaciones encontradas durante la ejecución del estudio, refiriéndose a cada uno de los elementos mencionados en la sección 1.2.4 (limitaciones de información disponible, de carácter tecnológico, de plazo para ejecución, de recurso humano, de recursos financieros o cualquier otra limitación relevante).
 - iii. Resultados sobre la robustez de la información utilizada, tanto para el caso de los datos de infraestructura como para el clima.
 - iv. Parámetros climáticos más relevantes para cada escenario (presente y futuro).
 - v. Principales componentes de la infraestructura evaluados que se consideran en condición de riesgo, de acuerdo con la escala definida en los perfiles de riesgo.



Las conclusiones no deben presentar información que no se haya planteado a lo largo de la evaluación, ya que su objetivo no es exponer o presentar nuevos temas, sino más bien sintetizar aquellos tratados a lo largo de la investigación.

4.2 Recomendaciones

La sección de recomendaciones se deriva de la de conclusiones, razón por la cual debe existir un alineamiento entre ambos ítems. Se sugiere al equipo de trabajo considerar como mínimo los siguientes aspectos en la redacción de esta sección:

- i. Detallar las acciones que se recomiendan para la gestión de los riesgos, señalando cuál o cuáles de las cinco decisiones posibles (tolerar, tratar, transferir, terminar o tomar ventaja) se debe tomar y su debida justificación.
- ii. Justificar las propuestas de medidas de adaptación indicando la viabilidad con la que cuentan para su implementación; también, deben detallarse las condiciones que permitirían alcanzar las medidas con menor esfuerzo o, por el contrario, los inconvenientes que podrían existir para no lograr la adaptación.

iii. Recomendar y justificar cuál es la prioridad con la que el propietario de la infraestructura debe implementar las medidas de adaptación con el propósito de generar la resiliencia de los usuarios y de la misma infraestructura ante los impactos de la variabilidad y el cambio climático

iv. Exponer el sistema MRV para el monitoreo y seguimiento de las medidas de adaptación recomendadas y justificar la decisión.

v. Señalar los vacíos de datos o de información encontrados y cuáles serían las acciones o estudios adicionales requeridos para cerrar esa brecha.

vi. Recomendar, en caso de ser necesario, las acciones necesarias para aumentar el nivel de robustez de la información utilizada para el desarrollo del estudio.

Bibliografía

BID-MINAE-SINAC-DDC (2015). Estrategia y plan de acción para la adaptación del sector biodiversidad de Costa Rica al cambio climático (2015-2025). San José, Costa Rica.

Contraloría General de la República de Costa Rica. (2017). Informe DFOE-AE-OS-00001-2017 Presión sobre la Hacienda Pública en un contexto de variabilidad y cambio climático: desafíos para mejorar las condiciones presentes y reducir los impactos futuros. San José, Costa Rica. <https://cgrfiles.cgr.go.cr/publico/docswb/documentos/publicaciones-cgr/opiniones-sugestiones/informe-cambio-climatico.pdf>

Contraloría General de la República de Costa Rica. (2018). Informe Nro. DFOE-AE-IF-00015-2018. Informe de la Auditoría de carácter especial acerca de la incorporación de especificaciones que garanticen la resiliencia de la infraestructura pública reconstruida por la CNE. San José, Costa Rica. https://cgrfiles.cgr.go.cr/publico/docs_cgr/2018/SIGYD_D_2018021701.pdf

Decreto 40199-MP de 2017. Apertura de datos públicos. (27 de abril de 2017). http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=84004

Decreto 42465 de 2020. Lineamientos generales para la incorporación de las medidas de resiliencia en infraestructura pública. (15 de junio de 2020). Ministerio de Obras Públicas y Transportes, Ministerio de Ambiente y Energía, Ministerio de Vivienda y Asentamientos Humanos.

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2014). Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo principal de redacción, R.K. Pachauri y L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Ginebra, Suiza. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_es.pdf

Infrastructure Canada. (s.f.) Climate Lens. Recuperado de <https://www.infrastructure.gc.ca/pub/other-autre/cl-occ-eng.html#1>. Ingenieros Canadá. (2011). Protocolo de ingeniería para la Evaluación de la Vulnerabilidad de Infraestructuras y su Adaptación al cambio climático. Ottawa, Canadá.

Institute for Catastrophic Loss Reduction (ICLR), the Climate Risk Institute (CRI) and Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH/PIEVC. (s.f.). PIEVC. <https://pievc.ca/>



IPCC. (2007). Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 976pp

IPCC. (2018). Anexo I: Glosario [Matthews J.B.R. (ed.)]. En: Calentamiento global de 1,5 °C, Informe especial del IPCC sobre los impactos del calentamiento global de 1,5 °C con respecto a los niveles preindustriales y las trayectorias correspondientes que deberían seguir las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero, en el contexto del reforzamiento de la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, el desarrollo sostenible y los esfuerzos por erradicar la pobreza [Masson-Delmotte V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor y T. Waterfield (eds.)].

ISO 31000: 2018. (2018). Risk Management- Guidelines. <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:31000:ed-2:v1:en>

ISO 14090:2019. (2019). Adaptation to climate change — Principles, requirements and guidelines. <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14090:ed-1:v1:en>

Programa de la UICN 2017-2020, (14 de julio de 2017). ¿Qué son las Soluciones Basadas en la Naturaleza? IUCN. <https://www.iucn.org/node/28778>

United Nations Environment Programme (2020). Selecting Complementary Adaptation Measures. Briefing Note 4. <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/28177/Eba4.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Vásquez, S., Esquivel, L., Hidalgo, M. (2012). Histórico de desastres en Costa Rica (febrero 1723 - Setiembre 2012). San José, C.R: CNE. <https://www.bvs.sa.cr/ambiente/4923.pdf>

Anexo 1 : Criterios de priorización y selección con pesos relativos para un puente (*)

Tabla 15
Criterios de priorización para un puente

Grupo 1 Información de Servicios Climáticos. Peso: 40 %		Grupo 2 Información sobre la Infraestructura misma Peso: 40 %		Grupo 3 Valor estratégico: socioeconómico, político y geográfico. Peso: 20 %	
Criterios	Peso rela- tivo (ptos. de 100)	Criterios	Peso relativo (ptos. de 100)	Criterios	Peso relativo (ptos. de 100)
1.1. Existen datos sobre precipitaciónen el área de cuenca (si es sobre un río)	15	2.1. Existen los planos construc- tivos	11	3.1 Al momento de tomar decisiones para intervenir una infraestructura, ¿valoran criterios de cambio climático los responsables de la obra?	10
1.2. Existen curvas de inten- sidad, duración y frecuencia de precipitación en la cuenca respectiva	15	2.2. Existe información geotéc- nica a profundidad sobre fallas geológi- cas, información histórica sísmica	7	3.2. Grado de visibilidad mediática del puente	5
1.3. Existen registros históri- cos y continuos sobre eventos hidrometeorológicos ex- tremos: huracanes, ciclones (velocidad del viento), frentes fríos, sistemas de baja presión, depresiones tropicales, tormentas eléc- tricas	10	2.3. Se conoce el costo del puente o una estimación del mismo (en USD)	9	3.3. Impacto económico que provoca el cierre del puente según pérdidas en producción (agrícola, industrial), en el turismo, en el comercio	20
1.4. Existen datos sobre tem- peratura en el sitio en que se ubica el río o el puente	10	2.4. Dimensiones del puente: ancho, alto, largo (mayor puntaje por cercanía al valor medio de 50 m)	9	3.4. Dimensión del impacto social que provoca la inhabilitación del puente (a nivel local, nacional o internacional).	20
1.5. Existe información sobre la cuenca como relieve, geo- morfología, suelos, vegeta- ción, ordenamiento territorial, zonas de vida, modelaciones de la cuenca	15	2.5. El puente brinda conecti- vidad deotros servicios públi- cos (cables de comunicación, acueducto, oleoducto, cables eléctricos)	6	3.5. Posible afectación ambiental (en construcciones nuevas o con cambio de ubicación)	10
1.6. Existe información hidrométrica (fluviométrica o fluviográfica) si el puente está sobre un río	15	2.6. Tipo de puente: vial, fer- roviario, peatonal	3	3.6. Nivel de organización de los usuarios de la infraestructura o vecinos (líderes y organización local)	15
1.7. Existen proyecciones de parámetros climáticos para el sitio en el período de análisis (precipitación y temperatura)	10	2.7. Existe información sobre el Tránsito promedio vial (*1): de vehículos motorizados y no (peatones, ciclistas)	9	3.7. Existencia de redundancia (vías alternas) en la red vial que haga posible la comunicación en caso de salida de servicio del puente	20

Grupo 1 Información de Servicios Climáticos. Peso: 40 %		Grupo 2 Información sobre la Infraestructura misma Peso: 40 %		Grupo 3 Valor estratégico: socioeconómico, político y geográfico. Peso: 20 %	
Criterios	Peso rela- tivo (ptos. de 100)	Criterios	Peso relativo (ptos. de 100)	Criterios	Peso relativo (ptos. de 100)
1.8. Existen proyecciones sobre eventos hidrometeoro- lógicos extremos elaborados para el sitio	5	2.8. Es obra existente, por cons- truirse o rehabilitarse completa- mente	9		
		2.9. Existencia de financiamiento en caso de obra nueva o por ser rehabilitada	12		
		2.10. Existencia de recursos para mantenimiento del puente	5		
		2.11. Existencia de permisos (para obra nueva o por ser sustituida o rehabilitada): am- bientales (SETENA, Dirección de Aguas MINAE, Permiso forestal SINAC), de obras en cauce, de la municipalidad, según decreto de emergencia	9		
		2.12. Está incluido el puente dentro del sistema que prioriza la intervención de la infraestructura (TEC) (Dirección de Puentes-CO- NAVI)	6		
		2.13. Existen estudios técnicos realizados sobre el puente: sus materiales, mantenimiento, etc.	5		
Suma:	100 pts	Suma:	100 pts	Suma:	100 pts

Fuente: Elaboración propia.

(*): El valor relativo entre los grupos de criterios (40 %, 40 % y 20 %) se enfoca en la aplicabilidad del protocolo y no mide la importancia del puente.
(*1): TPD máx. en 2017 de aprox. 100 mil vehículos diarios (<http://mopt.opendata.junar.com/dataviews/239211/transito-promedio-dia-rio-tpda-2015/>)

Anexo 2: Lista de componentes por tipo de infraestructura

Tabla 16
Lista de control de componentes por tipo de infraestructura

LISTA de Control de Componentes por Tipo de Infraestructura o Proyecto		
En las observaciones se indican los detalles físicos y técnicos, así como datos relevantes en cuanto a su estado (con o sin daños aparentes, reparaciones, sustituciones)		
a) Edificaciones		
Edificios para habitación, comercio y oficinas de uno o varios pisos, espacios de uso público para educación (escuelas, colegios, universidades, etc.), para salud (clínicas, hospitales), para sitios de reunión pública (estaciones, terminales, museos, anfiteatros, salas de concierto, galerías, centros de convenciones, estadios, campos deportivos, edificios para baños públicos, gimnasios, velódromos, etc.).para estacionamiento de automóviles (edificios, lotes, etc.) y para distribución (estaciones de servicio, tanques, silos, etc.)		
COMPONENTE	OBSERVACIONES	VALORACIÓN
Cimentaciones		
Paredes y muros de carga		
Vigas		
Columnas		
Entrepisos		
Escaleras, rampas y ascensores		
Techos		
Elementos arquitectónicos (marquesinas, balcones, aleros, rótulos, etc.)		
Espacios comunes de circulación (pasillos, corredores, aceras etc.)		
Sistema de drenajes pluviales		
Sistemas eléctricos		
Sistemas electromecánicos		
Zonas verdes		
b) Estructuras de puentes vehículos, peatonales y ferroviarios (tipo puentes, pasos a desnivel, vado, alcantarilla, otro)		
COMPONENTE	OBSERVACIONES	VALORACIÓN

ACCESORIOS		
Pavimentos		
Barandas		
Juntas de expansión		
SUPERESTRUCTURA:		
Elemento principal portante (vigas, cerchas, arcos, sistemas de suspensión)		
Superficie de rodamiento (losa de concreto, de madera o piso de acero)		
Sistema de arriostramiento (diafragmas de concreto o de acero)		
Subestructura		
Pared de cabezal		
Alatones		
Viga cabezal		
Cuerpo principal (Columna, Muro)		
Fundaciones		
Losa de aproximación		
c) Carreteras		
COMPONENTE	OBSERVACIONES	VALORACIÓN
Rellenos		
Taludes		
Estructura de pavimentos		
Carpeta		
Base		
Subbase		
Subrasante		
Calzada		
Espaldones		
Aceras		
Cunetas		

Alcantarillas y sistema de drenajes		
Obras de superficie (Cordones y caños, sumideros y tragantes, hidrantes, etc.)		
Obras aéreas (líneas de energía y telecomunicaciones, sistemas de señalización vertical)		
d) Vías férreas		
COMPONENTE	OBSERVACIONES	VALORACIÓN
Rellenos		
Bancada (balastro)		
Durmientes		
Rieles		
Drenajes de aguas pluviales		
Pasos a nivel		
Pasos a desnivel		
Túneles		
Puentes		
Grandes obras		
COMPONENTE	OBSERVACIONES	VALORACIÓN
e) Túneles		
f) Represas		
g) Refinerías		
h) Puertos		
Zona marítima		
Zona terrestre		
Zona de conectividad		
Canales		
Rompeolas (exento- flotante- sumergido)		
Espigones		
Diques		
Muros costeros		
Muelle (obras de atraque- amarre- fondeo)		

Duques de alba	Estructuras exentas y separadas de la costa que se utilizan como puntos de atraque, de amarre, de ayuda a las maniobras de atraque, así como de cualquiera de estas tres funciones simultáneamente	
Rampas		
Tuberías de transporte	Transporte de materiales, fluidos bajo el mar o por gravedad o mediante bombeo	
Ductos de aducción	Transporte de agua desde el punto de captación hasta un tanque	
Emisarios submarinos	Disposición aguas residuales con distintos grados de tratamiento (incluye difusores y sistemas de anclaje)	
Pasarelas		
Grúas		
Malacates		
Succionadores		
Silos		
Tanques		
Patios de maniobras		
Terminales recepción de mercancías o personas		
Vías de acceso / salida		
Laderos		
Espuelas		
Cables submarinos		
i) Aeródromos y aeropuertos		
COMPONENTE	OBSERVACIONES	VALORACIÓN
Rellenos		
Pistas (capa asfáltica- concreto)		
Hangares		
Estacionamiento (aviones)		
Área de maniobras		
Torre de control		
Servicios contraincendios		
Sistemas de drenaje (alcantarillas)		

Lagunas artificiales de drenaje re- tardado		
Vallas- Tapias		
Edificio Terminal (pasajeros y carga)		
Estacionamiento (vehículos)		
Plantas de tratamiento de aguas servidas	Ver Sistemas de tratamientos de aguas residuales	
Sistemas de bombeo	Ver sistemas de bombeo	
Sistemas de climatización	Ver sistemas de climatización	
j) Acueductos		
COMPONENTE	OBSERVACIONES	VALORACIÓN
Sistema de Bombeo		
Pozos subterráneos		
Toma de captación	Captación de agua superficial (bo- catoma) y agua subterránea (alji- bes)	
Desarenador		
Planta de tratamiento	Potabilización	
Tanques	Distribución y almacenamiento	
Tuberías	Principales (conducción), distribu- ción	
Válvulas		
k) Sistemas de tratamiento de aguas residuales		
COMPONENTE	OBSERVACIONES	VALORACIÓN
Sistema de bombeo		
Tuberías		
Tamices estáticos		
Trituradores		
Tanques		
Desarenadores		
Sedimentadores		
Laguna de estabilización		
Laguna de oxidación		
Capa base- subbase		
COMPONENTE	OBSERVACIONES	VALORACIÓN
Suelo compactado (terraplén o subrasante mejorada)		

Revestimiento de hombreras		
Subbase de hombreras		
Drenajes de aguas pluviales		
Sistemas hidráulicos		
COMPONENTE	OBSERVACIONES	VALORACIÓN
Tuberías	Sistemas de tuberías y conexiones para transporte de agua, gas, combustibles fósiles y otras sustancias Sistemas de supresión de incendios	
Sistema sanitario	Tuberías, sistema de bombeo, sis- tema tratamiento de agua servida	
Sistema de tratamiento de aguas servidas	Sistema aeróbico/ anaeróbico y sus componentes	
Tanques de agua	Elevado o enterrado	
Sifones	Accesorios en el sistema de tuberías	
Sistema de bombeo		
COMPONENTE	OBSERVACIONES	VALORACIÓN
Tuberías	Sistemas de tuberías y conexiones para transporte de agua, gas, com- bustibles fósiles y otras sustancias Sistemas de supresión de incen- dios	
Sistema sanitario	Tuberías, sistema de bombeo, sis- tema tratamiento de agua servida	
Sistema de tratamiento de aguas servidas	Sistema aeróbico/anaeróbico y sus componentes	
Tanques de agua	Elevado o enterrado	
Sifones	Accesorios en el sistema de tube- rías	
Sistema de bombeo		
COMPONENTE	OBSERVACIONES	VALORACIÓN
Válvulas		
Motor		
Sistema controlador		

Tuberías		
Tanque		
Sistema de climatización		
COMPONENTE	OBSERVACIONES	VALORACIÓN
Unidades aire acondicionado		
Unidades de condensación		
Compresor		
Ventiladores		
Baterías		
Válvulas		
Tuberías de desagüe de condensados		
Tuberías de distribución de aire		
Evaporador		
Termostato		
Conexión eléctrica		
Protección eléctrica		
Alimentación eléctrica		
Instalaciones generadoras		
COMPONENTE	OBSERVACIONES	VALORACIÓN
Generadores (fuerza electromotriz)	Motores, baterías	
Sistemas subterráneos		
COMPONENTE	OBSERVACIONES	VALORACIÓN
Fundaciones		
Pozos	Agua potable Agua servida	
Sistemas eléctricos		
COMPONENTE	OBSERVACIONES	VALORACIÓN
Postes		
Torres de transmisión		
Sistema de cableado		
Estaciones eléctricas		
Subestaciones eléctricas		

Sistemas de protección	Dispositivos destinados a cortar automáticamente el circuito eléctrico	
Sistemas transformadores		
Sistemas de mando y maniobra	Permiten actuar sobre el flujo de la energía, conectando, desconectando y regulando las cargas eléctricas.	
Sistemas de iluminación		
Sistemas de señalización		
Paneles		
Sistemas de estabilización de taludes		
COMPONENTE	OBSERVACIONES	VALORACIÓN
Muros y elementos de contención	Muros de contención, gaviones, concreto, hormigón, tierra armada, muros anclados	
Medidas de protección superficial	Estabilización de zonas fracturadas mediante mallas metálicas ancladas en rocas, mallas sintéticas	
Pilotes/ micropilotes	Elementos que incrementan la resistencia del terreno en la superficie de rotura	
Anclajes y muros anclados	Elementos que incrementan las fuerzas tangenciales de rozamiento en la superficie de rotura	
Revestimientos	Cemento expansivo, vegetación	
Sistemas electrónicos		
COMPONENTE	OBSERVACIONES	VALORACIÓN
Sistema de comunicación		
Control de mando de sistemas de iluminación		
Control de mando de sistemas de señalización		
Paneles		

Anexo 3: Análisis multiamenaza

Para el análisis multiamenaza de la infraestructura o proyecto por otras causas naturales no relacionadas con riesgo climático, se presenta una lista de fenómenos y sus posibles amenazas que sirve como guía para el análisis.

Este análisis puede ser aplicado de manera integral a la infraestructura o proyecto o bien, puede segregarse para una de las componentes, como se realiza en la metodología establecida para el análisis de riesgos climáticos.

Fenómeno que genera la amenaza	Amenaza
Actividad sísmica	Vibración sísmica
	Ruptura superficial del terreno
	Deslizamientos del terreno
	Licuaación de suelos
	Tsunami
Actividad volcánica	Sismos
	Caída de piroclastos
	Flujos piroclásticos
	Flujos de lava
	Colapso del terreno
	Lahares (flujos de lodo)
Actividad hidrometeorológica (depresión tropical, tormentas tropicales, huracanes, lluvias intensas)	Erosión y socavación
	Deslizamientos de tierra
	Flujos de detritos y lodo
	Tránsito de avenidas e inundación
	Altas velocidades del viento
	Descargas atmosféricas
Tecnológicas*	Contaminación industrial
	Ruptura de represas
	Accidentes de transporte
	Explosiones
	Incendios
	Derrame de químicos

*Las amenazas tecnológicas también pueden surgir directamente como resultado del impacto de un evento relacionado con las amenazas naturales.

Como referencia, el equipo de trabajo puede consultar los mapas por tipo de amenaza que elabora oficialmente la Comisión Nacional de Prevención del Riesgo y Atención de Emergencias (CNE), además del inventario histórico de desastres (CNE, 2012).

Es necesario consultar al propietario de la infraestructura como a los operadores sobre algún evento que haya sido una amenaza a la obra o proyecto. Esta información debe tomarse de la lista de prechequeo (Anexo 2). Por otro lado, la consulta a usuarios vecinos o del entorno que conozcan bien el área del emplazamiento de la infraestructura o proyecto es importante, ya que muchas veces conocen muy bien la información sobre la atención de alguna emergencia.

Para documentar la información de la amenaza en la Tabla 18 se propone un formato de ficha técnica, la cual puede ser modificada a criterio del equipo de trabajo.

Tabla 18
Ficha técnica: Información por tipo de amenaza

Fenómeno que genera la amenaza:	
Amenaza:	
Distancia de la amenaza a la obra o proyecto	
Descripción del impacto directo o indirecto a la obra o proyecto (en cualquier etapa)	
Descripción de un posible impacto directo o indirecto en los casos en los que el evento llegara a suceder	
Riesgo de impacto **	

Fuente: Elaboración propia.

** El Riesgo de impacto se categoriza mediante una matriz de análisis de riesgo (MAR), que corresponde a la multiplicación de los resultados de la probabilidad de ocurrencia de la amenaza por la vulnerabilidad que genera esa amenaza a la obra o proyecto.

Anexo 4: Lista de parámetros climáticos

Tabla 19
Lista de parámetros climáticos

Evento Meteorológico	Incidente	Posibles efectos sobre infraestructura
Precipitación Intensa	Inundaciones Crecidas Desbordamientos Arrastre de materiales (piedras, lodo, basura)	- Alcantarillado y desagüe por colapsar - Daños a la infraestructura hidráulica por falta de capacidad o por obstrucciones debido a objetos o flujos de lodos
Temporal	Inundaciones Crecidas Desbordamientos Arrastre de materiales (piedras, lodo, basura)	- Riesgo de socavamiento y deslizamiento de estructuras y edificaciones que se encuentren en laderas y zonas de riesgo. - Sobrecarga de los drenajes, socavación de puentes
Sequía	Reducción en precipitación	- Riesgos por exposición a incendios - Daños a materiales - Sobreexplotación de pozos de aguas subterráneas. - Afectación a la distribución de agua - Bajos niveles de lagos y caudales de ríos que podrían afectar la infraestructura hidráulica e hidroeléctrica.
Temperaturas altas		- Daño a materiales - Incremento de costes por consumo energético
Viento intenso	Aumento en velocidad del viento	- Cese o limitación de operaciones por prevención o bien debido a daños de la infraestructura

Evento Meteorológico	Incidente	Posibles efectos sobre infraestructura
Tormenta eléctrica	Descarga eléctrica	- El cese de operaciones o cierre de obras por daños o por cortes de electricidad
Marejada	Inundaciones Erosión costera	- El cese de operaciones o cierre de obras en infraestructura costera. - Pérdida de estabilidad y funcionalidad de obras de estabilización, carreteras costeras, estructuras de puertos - Erosión costera reduciendo la línea de costa.
Aumento del nivel freático de las aguas subterráneas	Afecciones a causa del agua	- Humedad por capilaridad - Grietas, supresión, desestabilización del suelo, arrastre y lavado de finos (falta de suelos) filtraciones en el interior - Degradación de materiales - Inundación de fosas - Pérdida de resistencia de los materiales. - Afectación en las líneas de transmisión, los gasoductos y oleoductos
Cambios en evapotranspiración		- Afectación de las operaciones - Estrés térmico puede afectar a los operadores que trabajan en el campo

