



Banco Interamericano de Desarrollo
Ministerio de Obras Públicas de Chile

Informe final (E4):

Análisis de la integración del cambio climático en el Sistema Nacional de Inversiones para el desarrollo de infraestructura resiliente y baja en carbono

Número de proyecto: CH-R1020-P003

Enero 2026

GeoAdaptive

399 Boylston St. 6th Fl.

Boston MA 02116

www.geoadaptive.com

Contenidos

Listado de tablas.....	2
Listado de figuras	4
Listado de abreviaciones	6
Glosario	10
1. Introducción y Marco de Referencia.....	16
2. Propuesta de adecuación para la integración de cambio climático: Etapa de Formulación	35
3. Diagnóstico y diseño de herramienta BSAC	54
3-1. Diagnóstico	54
3-2. Proyectos y países	72
3-3. Metodologías de evaluación social y herramienta	96
4. Aplicación de Herramienta	121
4-1. Taller participativo de revisión	121
4-2. Aplicación de herramienta e indicadores propuestos a los casos de estudio.....	132
4-3. Recomendaciones para el financiamiento de infraestructura resiliente.....	148
4-4. Plan de acción.....	157
5. Procedimiento de integración del Precio Social del Carbono	166
5-1. Diagnóstico	166
5-2. Infraestructura Y Mitigación Climática	176
5-3. Procedimiento para la integración del PSC en la evaluación social	190
6. Recomendaciones y conclusiones	207
Referencias.....	215
Anexos	232
Anexo 2-1 ARCLIM	232
Anexo 2-2 Ejemplos de matriz sin vs con proyecto (A-E-V-R) e indicadores por tipología	241
Anexo 2-3 Fuentes disponibles e integración de amenazas climáticas	243
Anexo 2-4 Caracterización del problema por tipología	249
Anexo 2-5 Clasificación cualitativa de significancia del nivel de riesgo climático	249
Anexo 2-6 Metodología para incorporar el cambio climático en puentes y control aluvional	256
Anexo 3-1 Levantamiento de información	264
Anexo 3-2 Resumen de entrevistas grupales	272
Anexo 3-3 Análisis de proyectos seleccionados	285
Anexo 3-4 Comparación de países.....	294
Anexo 4-1 Propuesta para taller participativo de revisión	319
Anexo 4-2 Aplicación de la herramienta.....	327
Anexo 5-1 Entrevistas grupales.....	341
Anexo 5-2 Aplicabilidad y síntesis por tipología.....	349
Anexo 5-3 Aclaraciones técnicas adicionales	360

Listado de tablas

Tabla 1-1.1. Tipologías de proyectos MOP consideradas en el estudio, según Dirección Ejecutora e impacto del cambio climático	25
Tabla 1-1.2. Casos de estudio seleccionados para la aplicación de la herramienta BSAC.....	25
Tabla 1-1.3. Escenarios climáticos y tasas diferenciadas según escenario.....	27
Tabla 1-1.4. Síntesis de hitos y contenidos (según TdR).....	31
Tabla 2-1. Tipologías y amenazas climáticas abordadas por la propuesta de adecuación	36
Tabla 2-2: Identificación de Tipo de Problema Considerando Cambio Climático.....	42
Tabla 2-3: Descripción de Causas y Efectos Principales Considerando Cambio Climático	42
Tabla 2-4. Incorporación de Cambio Climático en la Caracterización del Problema según Tipología de proyecto.....	43
Tabla 2-5. Síntesis de situación sin proyecto, optimizada y con proyecto	45
Tabla 2-6. Componentes de riesgo climático/ resiliencia que la situación con proyecto beneficia a la sociedad	46
Tabla 2-7. Identificación de beneficios considerando el riesgo climático por Tipología en Situación con Proyecto	47
Tabla 2-8. Puentes: medidas de resiliencia ante amenazas climáticas.....	50
Tabla 2-9. Control aluvional: medidas de resiliencia ante amenazas climáticas	50
Tabla 2-10. Protección de borde costero: medidas de resiliencia ante amenazas climáticas.....	51
Tabla 3-1.1. Brechas y Oportunidades del Diagnóstico	58
Tabla 3-1.2. Síntesis de Estructura de Entrevistas Grupales por Módulos	60
Tabla 3-2.1: Infraestructura de Puentes - Medidas Comunes.....	76
Tabla 3-2.2: Infraestructura de Protección Costera - Medidas Comunes.....	77
Tabla 3-2.3: Control de Inundaciones y Gestión Fluvial - Medidas Comunes	77
Tabla 3-2.4. Los Tres Casos de Estudio	80
Tabla 3-3.1: Indicadores de Seguimiento.....	98
Tabla 3-3.2: Características por Escenario Climático.....	101
Tabla 3-3.3: Tasas de Descuento Diferenciadas.....	103
Tabla 3-3.4: Factores de Riesgo e Incertidumbre	103
Tabla 3-3.5: Indicadores de Rentabilidad Social	104
Tabla 3-3.6: Componentes de Beneficios Sociales Propuestos para Control Aluvional	106
Tabla 3-3.7: Componentes de Beneficios Sociales Propuestos para Puentes.....	107
Tabla 3-3.8: Componentes de Beneficios Sociales Propuestos para Protección Costera.....	109
Tabla 3-3.9: Costos Adicionales por Adaptación Climática Estimados.....	111
Tabla 4-2.1: Información de entrada para cálculo de beneficios sociales de adaptación climática (caso 1)	135
Tabla 4-2.2: Lista de chequeo y datos iniciales (caso 1)	135
Tabla 4-2.3: Cálculo de beneficios de adaptación climática (caso 1).....	136
Tabla 4-2.4: Cálculo de costos asociados (caso 1)	137
Tabla 4-2.5: Síntesis de resultados (caso 1).....	137
Tabla 4-2.6: Información de entrada para cálculo de beneficios sociales de adaptación climática	

(caso 2)	138
Tabla 4-2.7: Lista de chequeo y datos iniciales (caso 2)	138
Tabla 4-2.8: Cálculo de beneficios de adaptación climática (caso 2)	139
Tabla 4-2.9: Cálculo de costos asociados (caso 2)	140
Tabla 4-2.10: Síntesis de resultados (caso 2)	140
Tabla 4-2.11: Información de entrada para cálculo de beneficios sociales de adaptación climática (caso 3)	141
Tabla 4-2.12: Lista de chequeo y datos iniciales (caso 3)	141
Tabla 4-2.13: Cálculo de beneficios de adaptación climática (caso 3)	142
Tabla 4-2.14. Cálculo de costos asociados (caso 3)	143
Tabla 4-2.15. Síntesis de resultados (caso 3)	143
Tabla 4-2.16. Síntesis de análisis de sensibilidad (caso 1)	144
Tabla 4-2.17. Síntesis de análisis de sensibilidad (caso 2)	144
Tabla 4-2.18. Síntesis de análisis de sensibilidad (caso 3)	145
Tabla 5-2.1. Evolución del PSC en Chile	178
Tabla 5-2.2. Aplicación práctica de los criterios en fase de preinversión	183
Tabla 5-2.3. Síntesis de análisis de aplicabilidad por tipología	185
Tabla A2-1.1. Tabla tipo para la construcción de una cadena de impacto descriptiva (simplificada)	240
Tabla A2-3.1. Fuentes secundarias disponibles con datos del gobierno de Chile e instituciones académicas, organizadas por amenaza como insumo complementario para la formulación de proyectos	243
Tabla A2-3.2. Síntesis de las principales fuentes de información disponibles, válidas para las tres tipologías, para la integración climática en etapa de formulación	245
Tabla A2-4.1. Caracterización del problema por tipología (lista de verificación para completar)....	249
Tabla A3-1.1. Documentos compartidos por MOP	264
Tabla A3-1.2. Documentos compartidos por MDSF	264
Tabla A3-1.3. Documentos complementarios (identificados por GeoAdaptive)	266
Tabla A3-1.4. Documentos adicionales entrevistas	266
Tabla A3-1.5. Estructura de ficha de análisis de documentos	267
Tabla A3-1.6. Resumen Analítico Documental en torno a la Adaptación al Cambio Climático.	268
Tabla A3-1.7. Resumen Analítico Documental en torno a la Mitigación al Cambio Climático... ..	269
Tabla A3-1.8. Resumen Analítico Documental de Instrumentos Transversales de Integración.....	270
Tabla A3-3.1. Documentos Compartidos por MOP para Revisar en Caso 1	285
Tabla A3-3.2. Evaluación del Indicador “Semáforo” en Documentos del Estudio de Caso 1.....	285
Tabla A3-3.3. Documentos Compartidos por MOP para Revisar en Caso 2	288
Tabla A3-3.4. Evaluación del Indicador “Semáforo” en Documentos del Estudio de Caso 2.....	288
Tabla A3-3.5. Documentos Compartidos por MOP para Revisar en Caso 3	290
Tabla A3-3.6. Evaluación del Indicador “Semáforo” en Documentos del Estudio de Caso 3.....	291
Tabla A3-4.1. Indicadores de Adaptación	294

Tabla A3-4.2: Indicadores de Mitigación	296
Tabla A3-4.3: Ficha de análisis de Canadá	299
Tabla A3-4.4: Ficha de análisis de Países Bajos	300
Tabla A3-4.5: Ficha de análisis de Australia	303
Tabla A3-4.6: Ficha de análisis de Reino Unido	305
Tabla A3-4.7: Ficha de análisis de Estados Unidos.....	308
Tabla A3-4.8: Información complementaria de aproximación climática para puentes.....	311
Tabla A3-4.9: Información complementaria de aproximación climática para gestión fluvial.....	314
Tabla A3-4.10: Información complementaria de aproximación climática para protección de borde costero.....	316
Tabla A4-2.1. Vida útil y horizontes de evaluación	330
Tabla A4-2.2: Componentes de Beneficios Sociales Propuestos para Puentes	338
Tabla A4-2.3: Componentes de Beneficios Sociales Propuestos para Protección Costera.....	339
Tabla A4-2.4: Componentes de Beneficios Sociales Propuestos para Control Aluvional.....	340
Tabla A5-1.1. Comparación de hallazgos por dimensión y división/Ministerio	346
Tabla A5-1.2. Principales documentos revisados para el diagnóstico	348
Tabla A5-2.1. Comparación de medidas de mitigación por tipología de infraestructura	357
Tabla A5-2.2. Comparativa de instrumentos normativos y de gestión aplicables en etapa de preinversión	358

Listado de figuras

Figura 2-1. Árbol de decisión para integrar CC en la formulación de proyectos (tres tipologías prioritarias)	38
Figura 2-2. Componentes del riesgo climático	41
Figura 2-3: Esquema General de Categorización y Optimización.....	44
Figura 3-1.1. Diagrama de Flujo del Proceso Metodológico para la Revisión Bibliográfica	55
Figura 3-2.1. Países Seleccionados, Fichas de Síntesis, y Resultado.....	72
Figura 3-2.2: Ubicaciones de los Casos de Estudio dentro de Chile. Los números corresponden a la Tabla 3-2.4.....	82
Figura 3-2.3. Puente Los Vientos.....	87
Figura 3-2.4. Avenida Perú y Paseo San Juan de Saavedra	88
Figura 3-2.5. Quebrada Bonilla.....	89
Figura 3-2.6: Marco para la Población Afectada.....	91
Figura 3-3.1 Marco lógico de integración.....	97
Figura 3-3.2: Adecuaciones para Obras Hidráulicas	102
Figura 3-3.3: Adecuaciones para Puentes.....	102
Figura 3-3.4: Adecuaciones para Protección de Borde Costero	103
Figura 3-3.5: Lógica de Encadenamiento	104
Figura 3-3.6: Propuesta para Valorizar los Beneficios Sociales	105
Figura 3-3.7: Contenido de Herramienta BSAC.....	113

Figura 3-3.8: Árbol de Decisión Control Aluvional	114
Figura 3-3.9: Árbol de Decisión Puentes.....	115
Figura 3-3.10: Árbol de Decisión Protección Costera	116
Figura 4-2.1. Proceso de calibración	132
Figura 4-2.2: Marco general.....	133
Figura 4-2.3: Casos de estudio.....	134
Figura 4-3.1: Arquitectura de finanzas sostenibles chilena	150
Figura 4-3.2. Síntesis de instrumentos de financiamiento climático disponibles.....	155
Figura 5-3.1. Diagrama de síntesis de la estructura del procedimiento	202
Figura A2-1.1. Ejemplo de índices climáticos del Explorador de Amenazas de ARCLIM	232
Figura A2-1.2. Ejemplo de índices climáticos del Explorador de Amenazas de ARCLIM	232
Figura A2-1.3. Sectores para los que se han desarrollado cadenas de impacto en ARCLim.....	234
Figura A2-6.1. Esquema de decisiones para estudio hidrológico incorporando cambio climático..	257
Figura A2-6.2. Esquema de escenarios de trayectorias socioeconómicas compartidas (SSPs) del CMIP6 y comparación con escenarios del CMIP5 (RCPs).....	259
Figura A2-6.3. Esquema de metodología para estimar caudales de diseño en cuencas sin control fluviométrico en escenarios de cambio climático, etapa Modelación P-Q. Aplicación a puentes.....	263
Figura A2-6.4. Modelo hidrológico de gran escala	263
Figura A4-2.1. Diagrama de pasos generales.....	328
Figura A4-2.2. Etapas del ciclo de vida	329
Figura A4-2.3. Integración de la herramienta BSAC a la evaluación social.....	330
Figura A4-2.4. Árbol de decisión general.....	334
Figura A4-2.5. Caso 1. Reposición Puente Los Vientos en Ruta ZK-426.....	335
Figura A4-2.6. Caso 2. Diseño conservación defensas costeras sectores Avenida Perú y Juan de Saavedra	336
Figura A4-2.7. Caso 3. Obras de Control Aluvional en Quebrada Bonilla	337
Figura A5-2.1. Definición de medidas según análisis de ciclo de vida	349
Figura A5-2.2. Mayores oportunidades de mitigación en la etapa de preinversión	359

Listado de abreviaciones

A	Amenaza
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials (Asociación Estadounidense de Funcionarios de Carreteras Estatales y Transporte)
ABACO	Acceso a Bases Ambientales y Costos
ACB	Análisis Costo Beneficio
ACE	Análisis Costo Eficiencia
ACV	Análisis del Ciclo de Vida
ARCLIM	Atlas de Riesgos Climáticos
ASCE	American Society of Civil Engineers (Sociedad Americana de Ingenieros Civiles)
B/C	Relación Beneficio-Costo
BATV	Beneficio por Ahorro de Tiempo de Viaje
BCC	Beneficio de Continuidad de Conectividad
BCS	Beneficio de Continuidad de Servicios
BDI	Beneficio de Daños por Inundación Evitados
BIM	Barbados Implementation Modalities
BM	Banco Mundial
BPA	Beneficio de Protección de Activos
BRT	Beneficio de Reducción de Tiempo de Recuperación
BRV	Beneficio de Redundancia Vial
BSAC	Beneficios Sociales por Adaptación Climática
BTM	Beneficio de Turismo Mantenido
CAA	Costos Adicionales por Adaptación
CAF	Corporación Andina de Fomento
CAPEX	Capital Expenditure (Gasto de Capital)
CC	Cambio Climático
CCD	Continuidad, capacidad y desempeño
CR2	Center for Climate Resilience Research
D+E+M	Diseño + Ejecución + Mantenimiento

DAE	Daño Anual Esperado Evitado
DGA	Dirección General de Aguas
DGOP	Dirección General de Obras Públicas
DIPRES	Dirección de Presupuestos
DIRECTEMAR	Dirección General del Territorio Marítimo y de Marina Mercante
DIRPLAN	Dirección de Planeamiento
DIS	División de Infraestructura Sostenible
DMC	Dirección Meteorológica de Chile
DOH	Dirección de Obras Hidráulicas
DOP	Dirección de Obras Portuarias
DSyCC	Departamento de Sostenibilidad y Cambio Climático
DV	Dirección de Vialidad
E	Exposición
EPA	Environmental Protection Agency (Agencia de Protección Ambiental)
ECLP	Estrategia Climática de Largo Plazo
ECSE	Eficiencia Energética y Costos Sociales en Proyectos de Edificación
EE	Eficiencia Energética
EFCC	Estrategia Financiera frente al Cambio Climático
ERNC	Energías Renovables No Convencionales
FEMA	Federal Emergency Management Agency (Agencia Federal para el Manejo de Emergencias)
FHA	Federal Highway Administration (Administración Federal de Carreteras)
FRLD	Fund for responding to Loss and Damage (Fondo para Responder a Pérdidas y Daños)
FV	Fotovoltaico
GCF	Green Climate Fund (Fondo Verde del Clima)
GEI	Gases de Efecto Invernadero
GWP	Potencial de Calentamiento Global
HdC	Huella de Carbono
HDM	Highway Development and Management (Desarrollo y gestión de carreteras)
IDE	Infraestructura de Datos Geoespaciales
IDF	Intensidad-Duración-Frecuencia

IPCC AR6	Intergovernmental Panel on Climate Change Sixth Assessment Report (Sexto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático)
IRD	Índice de Riesgo de Desastres
ITMO	Internationally Transferred Mitigation Outcomes (Resultados de mitigación transferidos internacionalmente)
KPI	Key Performance Indicator (Indicador Clave de Desempeño)
LCA	Life Cycle Assessment (Análisis del ciclo de vida)
LMCC	Ley Marco de Cambio Climático
MCDA	Multi-Criteria Decision Analysis (Análisis de Decisión Multicriterio)
MCERD	Metodología Complementaria para la Evaluación de Riesgo de Desastres
MDSF	Ministerio de Desarrollo Social y Familia
MG	Metodología General para la Formulación y Evaluación de Proyectos de Inversión Pública
MH	Ministerio de Hacienda
MINVU	Ministerio de Vivienda y Urbanismo
MMA	Ministerio de Medio Ambiente
MOP	Ministerio de Obras Públicas
MRV	Medición, Reporte y Verificación
NCHRP	National Cooperative Highway Research Program (Programa Nacional de Investigación Cooperativa de Carreteras)
NDC	Nationally Determined Contribution (Contribución Determinada a Nivel Nacional)
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration (Administración Nacional Oceánica y Atmosférica)
O&M	Operación y Mantenimiento
OPEX	Operating Expenditures (gastos de operación)
PNIP	Plan Nacional de Infraestructura Pública 2025-2055
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
PSC	Precio Social del Carbono
PUC	Pontificia Universidad Católica de Chile
R	Riesgo
r_ajustada	Tasa de descuento ajustada (climática)

RCD	Residuos de Construcción y Demolición
RCP	Representative Concentration Pathway (Escenario climático)
RIS	Requisitos de Información Sectorial
RRD	Reducción de Riesgo de Desastres
RS	Recomendación Satisfactoria
SbN	SbN
SENAPRED	Servicio Nacional de Prevención y Respuesta ante Desastres
SERNAGEOMIN	Servicio Nacional de Geología y Minería
SHOA	Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada
SLR	Sea Level Rise (Aumento del nivel del mar)
SNI	Sistema Nacional de Inversiones
SSP2-4.5	Shared Socioeconomic Pathway 2-4.5 (Escenario climático moderado)
SSP5-8.5	Shared Socioeconomic Pathway 5-8.5 (Escenario climático alto)
TdR	Términos de Referencia
TIR	Tasa Interna de Retorno
TSD	Tasa Social de Descuento
USACE	U.S. Army Corps of Engineers (Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos)
UNDRR	United Nations Office for Disaster Risk Reduction (Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres)
UTM	Unidad Tributaria Mensual
V	Vulnerabilidad
VAC	Valor Actual de Costos
VAN	Valor Actual Neto
VANS	Valor Actual Neto Social
VOC	Costo Operacional de Vehículo

Glosario

ÁBACO: (Acceso a Bases Ambientales y Costos) es una plataforma web pública y gratuita de gestión de costos e indicadores ambientales para la construcción, desarrollada por el CITEC-UBB (Universidad del Bío-Bío) y financiada por CORFO. Facilita la evaluación, comparación y presupuestación de proyectos (públicos/privados) con un enfoque en sustentabilidad, integrado con el Ministerio de Obras Públicas y el Ministerio de Desarrollo Social.

ACV / LCA: Life Cycle Assessment (Análisis del Ciclo de Vida) su versión simplificada incluye una evaluación rápida y menos detallada de los impactos ambientales de un producto o servicio, enfocada en identificar los puntos críticos (hotspots) más importantes. A diferencia de un ACV completo, utiliza datos genéricos o de fácil acceso y limita el alcance a las etapas más relevantes, permitiendo una toma de decisiones más ágil y económica.

Adaptación al cambio climático: acción, medida o proceso de ajuste al clima actual o proyectado o a sus efectos en sistemas humanos o naturales, con el fin de moderar o evitar los daños, reducir la vulnerabilidad, aumentar la resiliencia o aprovechar las oportunidades beneficiosas. (Ley 21.455)

Amenaza: Fenómeno climático con el potencial de producir efectos adversos (MOP, 2025).

Área de Influencia: Se refiere a la delimitación territorial en la que se manifiestan los efectos directos de las alternativas de solución destinadas a abordar el problema identificado. Por ello, resulta más específica que el área de estudio y, generalmente, constituye un subconjunto de ésta, aunque en algunos casos pueden coincidir. (MDSF, 2025a)

Beneficios Resilientes en Infraestructura: Los beneficios resilientes se refieren a las ventajas económicas, sociales y ambientales que se obtienen cuando la infraestructura puede mantener su funcionalidad, adaptarse y recuperarse rápidamente ante eventos climáticos extremos, perturbaciones o crisis. Estos beneficios van más allá de la simple resistencia física y abarcan la capacidad de los sistemas de infraestructura para seguir prestando servicios esenciales bajo condiciones adversas.

Bonos soberanos sostenibles: son instrumentos de deuda emitidos por un gobierno nacional para captar capital destinado exclusivamente a financiar o refinanciar proyectos públicos con beneficios ambientales positivos. Los fondos recaudados tienen un "uso de ingresos" restringido y deben ser reportados con total transparencia para asegurar su impacto en la sostenibilidad.

Cambio climático: cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables. (Ley 21.455)

Carbono incorporado: es la suma de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) liberadas durante todo el ciclo de vida de los materiales de construcción, incluyendo su extracción, fabricación, transporte, instalación, mantenimiento y eliminación. A diferencia del carbono operativo (uso diario de energía), este impacto se genera antes de que el proyecto de infraestructura comience a funcionar.

Costo marginal de abatimiento: es un indicador económico que mide el costo de reducir (abatir) una tonelada adicional de dióxido de carbono equivalente (CO₂ equivalente) mediante una medida específica. Este concepto es fundamental para decidir qué acciones priorizar para cumplir con la ley de manera eficiente.

ECSE: (Eficiencia Energética y Costos Sociales en Proyectos de Edificación) es una herramienta del SNI diseñada para evaluar la rentabilidad social de medidas de ahorro energético en proyectos públicos de edificación. La herramienta de cálculo, basada en macros de Excel, se utiliza para realizar estimaciones tempranas del desempeño energético, ambiental y económico de proyectos de edificación pública.

Efectos adversos del cambio climático: Los cambios en el medio ambiente, provocados por el cambio climático, que tienen consecuencias nocivas en la composición, la capacidad de recuperación o la productividad de los ecosistemas, en la salud y el bienestar humano, o en los sistemas socioeconómicos (MMA, 2024).

ERNC: (Energías Renovables No Convencionales) las ERNC en Chile son fuentes de energía limpia e inagotable (solar, eólica, minihidro, geotérmica, biomasa, mareomotriz) que, a diferencia de las convencionales, no agotan recursos ni contaminan. Chile es líder regional, superando el 40% de participación en la matriz eléctrica en 2024, principalmente gracias a la energía solar y eólica.

Estrategia Climática de Largo Plazo: Es un instrumento reconocido en el Acuerdo de París, en el que se definen los lineamientos generales de largo plazo que seguirá el país de manera transversal e integrada, considerando un horizonte a 30 años para el cumplimiento del objeto de la Ley Marco de Cambio Climático de Chile (LMCC). Dentro de sus contenidos más relevantes en materia de mitigación destacan la definición de un presupuesto nacional de emisiones de gases de efecto invernadero al año 2030 y 2050, y de los presupuestos de emisión para cada uno de los sectores que establece la ley al 2030. Adicionalmente, contiene lineamientos en materia de adaptación al cambio climático, así como de evaluación de riesgos, considerando la vulnerabilidad de cada sector específico (MMA, 2022).

Exposición: Presencia del sistema analizado que podría verse afectado negativamente (MOP, 2025).

Gestión del cambio climático: Conjunto de políticas, planes, programas, regulaciones, normas, actos administrativos, instrumentos, medidas o actividades relacionadas con la

mitigación o adaptación al cambio climático, a nivel nacional, regional y local. La gestión del cambio climático comprenderá, entre otras, las medidas que tengan por finalidad evitar o disminuir los efectos adversos del cambio climático, prevenir los riesgos asociados a éste, así como aprovechar las oportunidades beneficiosas y aumentar la resiliencia climática (MMA, 2024).

Grupos vulnerables: Segmento de la población que presenta alto riesgo vinculado a los efectos adversos del cambio climático, por tratarse de grupos ya marginados o en condiciones previas de vulnerabilidad (MMA, 2024).

HDM-4: el modelo HDM-4 (Highway Development and Management) es un software y herramienta técnica estándar internacional, utilizado en Chile por la Dirección de Vialidad, para la planificación, gestión, evaluación económica y técnica de proyectos de carreteras, optimizando el mantenimiento y la inversión en infraestructura vial.

Instrumentos de priorización de infraestructura: Se refiere a los instrumentos utilizados para la priorización de carteras de proyectos de infraestructura. La participación de las regiones en el proceso anual de priorización de la cartera de proyectos se destaca como un insumo clave empleado por el MOP para este fin. Adicionalmente, esta consultoría subraya la relevancia de los instrumentos de planificación territorial y su conexión con la priorización de inversiones. Un ejemplo de esto es la metodología METvial crítica, implementada por la Dirección de Vialidad para identificar segmentos críticos dentro de la red vial.

Instrumentos para la evaluación de infraestructura: Se refiere a los instrumentos, redimensionamientos estructurales y medidas redundantes para asegurar tiempos de recuperación objetivos utilizados para la evaluación de proyectos de infraestructura en el SNI. Los instrumentos transversales del SNI constituyen la columna vertebral de la integración climática, ya que establecen reglas aplicables a todos los proyectos de inversión pública (Metodología General del SNI), acompañada por la Metodología de Riesgo de Desastres (no obligatoria), y por metodologías de evaluación sectoriales y Requisitos de Información Sectorial (RIS).

Inversión baja en carbono: es la asignación de recursos financieros (capital público o privado) destinada específicamente a proyectos, tecnologías o activos que logran reducir o prevenir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Ataca la causa raíz del calentamiento global para hacer sus efectos menos severos en el futuro.

Mitigación al cambio climático: acción, medida o proceso orientado a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y otros forzantes climáticos, o restringir el uso de dichos gases como refrigerantes, aislantes o en procesos industriales, entre otros, o a incrementar, evitar el deterioro o mejorar el estado de los sumideros de dichos gases, con el fin de limitar los efectos adversos del cambio climático. (Ley 21.455)

MRV: (Medición, Reporte y Verificación) se refiere al sistema de Medición, Reporte y Verificación de acciones climáticas y financiamiento, fundamental para el cumplimiento de los compromisos del Acuerdo de París. Su objetivo es medir y validar la reducción de gases de efecto invernadero (GEI) y el financiamiento climático en el país para asegurar transparencia y mejorar la toma de decisiones.

NDC: Nationally Determined Contribution (Contribución Determinada a Nivel Nacional) NDC, por sus siglas en inglés son los planes de acción climática voluntarios que cada país presenta en el marco del Acuerdo de París, detallando cómo reducirán sus emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y se adaptarán al cambio climático. Deben actualizarse cada 5 años con mayor ambición.

Operación y Mantenimiento: gastos y actividades recurrentes necesarios para sostener un proyecto, programa o infraestructura en el nivel de servicio previsto (FMI, 1991).

Parámetros Estandarizados (para Infraestructura Resiliente y Baja en Carbono): Los parámetros estandarizados constituyen un elemento fundamental para la evaluación sistemática de proyectos de infraestructura en el contexto del cambio climático. Estos parámetros permiten cuantificar de manera consistente y comparable los beneficios derivados de inversiones en infraestructura resiliente y baja en carbono. Para la infraestructura resiliente se refiere a beneficios de daños evitados, incluyendo parámetros de interrupción de servicios e indicadores de resiliencia operacional. En el caso de infraestructura baja en carbono, factores de emisión por tipología de infraestructura.

PSC: (Precio Social del Carbono) es un valor monetario que representa el costo económico o el daño que causa a la sociedad la emisión de una tonelada adicional de dióxido de carbono (CO₂) a la atmósfera. Se usa para calcular la rentabilidad social de los proyectos del Estado. Y permite comparar objetivamente diferentes alternativas tecnológicas considerando su impacto en el cambio climático.

RCD: (Residuos de Construcción y Demolición) son materiales sólidos, mayoritariamente pétreos y no peligrosos, generados en obras de edificación, derribos, excavaciones o reparaciones. Su gestión busca la separación en origen y valorización para reutilizar materiales como áridos, hormigón o metal. Un manejo inadecuado genera gran impacto ambiental, ocupando espacios ilegales.

Redundancia: La redundancia en el contexto de infraestructura vial resiliente se refiere a la capacidad de un sistema de transporte para mantener su funcionalidad a través de rutas o componentes alternativos cuando alguna parte del sistema falla o se ve comprometida. Crear redundancia en las redes, conlleva aumentar el número de conexiones que sirven a una comunidad.

Resiliencia climática: capacidad de un sistema o sus componentes para anticipar, absorber, adaptarse o recuperarse de los efectos adversos del cambio climático, manteniendo su función

esencial, conservando al mismo tiempo la capacidad de adaptación, aprendizaje y transformación (Ley 21.455).

Riesgos vinculados al cambio climático: Aquellas consecuencias potencialmente adversas para sistemas humanos o ecológicos, reconociendo la diversidad de valores y objetivos asociados con tales sistemas. En el contexto del cambio climático, pueden surgir riesgos de los impactos potenciales del cambio climático, así como de las respuestas humanas al mismo (MMA, 2024).

Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN): acciones para proteger, gestionar de manera sostenible y restaurar ecosistemas naturales o modificados que abordan desafíos de la sociedad como el cambio climático, la seguridad alimentaria e hídrica o el riesgo de desastres, de manera eficaz y adaptativa, al mismo tiempo que proporcionan beneficios para el desarrollo sustentable y la biodiversidad (Ley 21.455).

VAC: (Valor Actual de los Costos) es un indicador financiero que calcula el valor presente de todos los costos futuros de un proyecto o inversión, descontándolos a una tasa de interés específica. Se utiliza para comparar alternativas con beneficios idénticos o difíciles de medir, seleccionando la opción con el menor VAC.

VANS: (Valor Actual Neto Social) es un indicador económico utilizado para evaluar la rentabilidad de un proyecto desde la perspectiva de la sociedad, calculando la diferencia entre el valor presente de los beneficios sociales y los costos sociales futuros, descontados a una tasa social. Indica el aumento de la riqueza nacional al ejecutar el proyecto frente a la alternativa de menor rentabilidad.

Vulnerabilidad al cambio climático: propensión o predisposición a ser afectado negativamente por los efectos adversos del cambio climático. La vulnerabilidad comprende una variedad de conceptos que incluyen la sensibilidad o susceptibilidad al daño y la falta de capacidad de respuesta y adaptación de los ecosistemas, comunidades, territorios o sectores (Ley 21.455).



Capítulo 1.

Introducción y Marco de Referencia

1. Introducción y Marco de Referencia

1-1. Antecedentes

Marco normativo y compromisos climáticos nacionales

Chile ha consolidado un marco normativo robusto para enfrentar el cambio climático, fundamentado en un conjunto de instrumentos estratégicos complementarios que orientan la acción pública hacia la carbono neutralidad y el fortalecimiento de la resiliencia climática del país.

- **La Ley Marco de Cambio Climático (LMCC, Ley N° 21.455)**, promulgada en junio de 2022, establece obligaciones vinculantes para los organismos del Estado en materia de mitigación y adaptación al cambio climático. Su objetivo principal es "hacer frente a los desafíos que presenta el cambio climático (CC), transitar hacia un desarrollo bajo en emisiones de gases de efecto invernadero y otros factores climáticos, hasta alcanzar y mantener la neutralidad de emisiones de gases de efecto invernadero al año 2050". El Artículo 2° establece el principio de costo-efectividad, que prioriza medidas de mitigación y adaptación eficaces y con menores costos económicos, ambientales y sociales, considerando explícitamente los costos indirectos de la inacción.
- **La Estrategia Climática de Largo Plazo (ECLP) 2050**, publicada en 2021, define la ruta hacia la carbono-neutralidad y resiliencia al 2050, estableciendo metas intermedias como 80% de generación renovable al 2030 y 100% de población urbana con acceso a servicios sanitarios. La ECLP establece presupuestos sectoriales de carbono que constituyen un marco vinculante condicionante de la planificación, formulación y priorización de la inversión pública. El cumplimiento de estos presupuestos requiere la implementación progresiva de los lineamientos del Plan Sectorial de Mitigación (PSM) del MOP, instrumento operativo necesario para viabilizar las obligaciones legales de largo plazo del Estado hacia la carbono neutralidad.
- **La Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC) 2025-2035** orienta la acción climática al 2035 y explicita el rol de la colaboración público-privada y los mecanismos de financiamiento. El capítulo 5.2.4 de la NDC subraya que Chile promoverá la incorporación del cambio climático en el diseño y operación de obras públicas y privadas, garantizando que la infraestructura de transportes, hidráulica, energética y urbana sea resiliente a impactos climáticos extremos y de largo plazo.
- **El Plan Nacional de Adaptación (PNACC)** incluye como línea de acción el desarrollo de metodologías para incorporar los impactos del cambio climático y las necesidades de adaptación en la evaluación social de proyectos, incluyendo su integración en el Sistema Nacional de Inversiones (SNI).

Rol del Ministerio de Obras Públicas (MOP)

El Ministerio de Obras Públicas (MOP), a través de la Dirección General de Obras Públicas (DGOP) y su Departamento de Sostenibilidad de Cambio Climático (DSyCC), tiene la responsabilidad de desarrollar e implementar el **Plan de Adaptación y Mitigación al Cambio Climático Sector Infraestructura (2025-2029)** en cumplimiento de la LMCC. El MOP tiene la conducción estratégica y articulación sectorial para la integración de criterios de resiliencia y baja emisión en la inversión pública de infraestructura.

El MOP, como parte de la ECLP, cuenta con 6 objetivos estratégicos sectoriales:

1. Promover la integración y participación de grupos vulnerables en la planificación de servicios de infraestructura.
2. Avanzar en un enfoque de economía circular en la edificación e infraestructura.
3. Fomentar el desarrollo de infraestructura y edificaciones bajas en carbono.
4. Avanzar en el desarrollo de un sistema de planificación multisectorial de infraestructura sostenible.
5. Avanzar en el desarrollo de un sistema de monitoreo de riesgos, bajo un enfoque de resiliencia.
6. Promover el desarrollo de edificaciones e infraestructura sustentables, que consideren aspectos territoriales y Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN).

El sector infraestructura es crítico para la adaptación y mitigación climática, ya que las decisiones de diseño, materialidad y operación de obras viales, hidráulicas y portuarias tienen implicancias de largo plazo sobre las emisiones de GEI y la vulnerabilidad territorial. El MOP identifica en su **Plan de Adaptación y Mitigación de los Servicios de Infraestructura al Cambio Climático (MOP, 2017)** amenazas como cambios en el patrón de precipitaciones, aumento en intensidad de inundaciones fluviales y costeras, olas de calor e incendios forestales. Ante estos desafíos, se requiere que la institucionalidad adopte medidas de adaptación financiadas por el Estado.

Sistema Nacional de Inversiones (SNI) y rol del Ministerio de Desarrollo Social y Familia (MDSF)

El **Sistema Nacional de Inversiones (SNI)** es fundamental en todas las fases de la inversión pública (prefactibilidad, factibilidad, diseño y ejecución). La integración del cambio climático como eje transversal desde las etapas iniciales de planificación es crucial para asegurar que las inversiones públicas estén alineadas con las necesidades de mitigación y adaptación. Es esencial integrar el cambio climático desde las primeras etapas, especialmente porque no todos los proyectos de infraestructura pública se originan en el MOP y existen otros organismos ejecutores. La incorporación temprana de criterios climáticos en el SNI garantizaría que las inversiones públicas respondan coherentemente a las necesidades de mitigación y adaptación.

Chile se rige por el **Decreto Ley (1263) Orgánico de Administración Financiera del Estado**, que en su artículo 19 bis establece que los estudios de preinversión y proyectos de inversión deben contar con un informe de planificación nacional o regional fundamentado en una evaluación técnico-económica. En 2019, se creó el **Ministerio de Desarrollo Social y Familia (MDSF)** por la Ley 20.530, que le mandata evaluar las iniciativas de inversión que soliciten financiamiento del Estado. Los entes de la Administración Pública Nacional (APN) deben identificar, formular y evaluar sus proyectos de inversión, mantener inventarios, controlar físico-financieramente, realizar evaluaciones ex post e intercambiar información con la División de Evaluación Social de Inversiones del MDSF y la Dirección de Presupuestos (DIPRES) del Ministerio de Hacienda.

El MDSF, a través del SNI, proporciona el marco metodológico y los lineamientos para la incorporación progresiva de beneficios por resiliencia y co-beneficios climáticos en la evaluación social. El Artículo 53 de la LMCC asigna al MDSF la responsabilidad de evaluar las iniciativas de inversión que soliciten financiamiento estatal para determinar su rentabilidad social, asegurar la eficacia y eficiencia en el uso de fondos públicos, y procurar la disminución de los efectos adversos del cambio climático.

El MDSF, junto con la DIPRES, tiene a su cargo el SNI, que "norma y rige el proceso de inversión pública de Chile", reuniendo metodologías, normas y procedimientos para la formulación, ejecución y evaluación de Iniciativas de Inversión (IDI) que postulan a fondos públicos. La evaluación ex-ante considera una metodología general, metodologías específicas y guías sectoriales. La administración de este proceso recae en la Subsecretaría de Evaluación Social a nivel central y en las Secretarías Regionales Ministeriales de Desarrollo Social y Familia a nivel regional.

Arquitectura normativa del SNI para la integración climática

La arquitectura normativa del SNI para integrar el clima en la evaluación de la inversión pública es avanzada pero incompleta. El Subsistema de Evaluación Ex-Ante del SNI contiene Normas, Instrucciones y Procedimientos (NIP), Requisitos de Información Sectorial (RIS), metodologías de formulación y evaluación social, y Precios Sociales vigentes. Los principales instrumentos son:

- **Metodología General del SNI:** Columna vertebral que permite valorar externalidades climáticas (daños evitados, continuidad de servicios, uso del PSC. Sin embargo, carece de parámetros climáticos actualizados y metodologías específicas homogéneas para las obras del MOP.
- **Requisitos de Información Sectorial (RIS):** Aportan diferenciación técnica y obligatoriedad sectorial (hidráulica, vialidad, portuaria), pero con asimetrías en la integración climática entre direcciones técnicas.
- **Metodología Complementaria de Evaluación de Riesgo de Desastres (RRD):** Valiosa pero de cobertura limitada y no obligatoria en todos los proyectos.
- **Instructivo de Proporcionalidad (MH; MDSF, 2025):** Complementa el marco normativo pero requiere traducirse en parámetros y criterios estandarizados.

Estos son complementados con instrumentos estratégicos desarrollados por el MOP, los cuales reafirman el liderazgo del Ministerio para acelerar el desarrollo de infraestructura resiliente, baja en carbono y alineada con los principios de la Economía Circular, por ejemplo:

- **Plan de Adaptación y Mitigación al Cambio Climático Sector Infraestructura (2025-2029):** Instrumento estratégico que requiere operacionalización en instrumentos del SNI.
- **Guía de Huella de Carbono del MOP (2023):** Herramienta para estandarizar el cálculo de emisiones, aunque su implementación aun no se materializa en los Términos de Referencia (TDR).

La integración de las metodologías propuestas en este estudio implica cambios en las metodologías tradicionales del SNI, requiriendo un proceso gradual y soporte político, incluyendo la validación institucional de fuentes de datos, calibración de parámetros climáticos y actualización de RIS sectoriales o una Resolución Circular ministerial.

Contexto institucional de la consultoría (BID, MOP, MDSF)

La presente consultoría es un proceso de selección del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), identificado como CH-R1020-P003. El estudio fue desarrollado por GeoAdaptive, LLC, bajo la modalidad Fee For Service.

El MOP es la contraparte técnica y el organismo con el mandato de desarrollar e implementar el Plan de Adaptación y Mitigación al Cambio Climático Sector Infraestructura, siendo el principal ejecutor de proyectos de infraestructura pública en Chile. El MDSF es un actor clave en la validación de las propuestas metodológicas, con la función de evaluar las iniciativas de inversión que soliciten financiamiento del Estado para determinar su rentabilidad social. Instituciones como la Dirección de Vialidad (DV), Dirección de Obras Hidráulicas (DOH), Dirección de Obras Portuarias (DOP), y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) también brindaron apoyo técnico y antecedentes para el estudio.

1-2. Problema público y justificación del estudio

Problema central

El problema central que busca abordar este estudio es la necesidad de promover cambios estructurales en la formulación y evaluación social de las inversiones públicas, mediante adecuaciones a las metodologías utilizadas en el SNI en su fase de preinversión, a través de la integración de aspectos que promuevan la resiliencia y apoyen la carbono-neutralidad. Esta transformación metodológica es fundamental para asegurar que las inversiones públicas contribuyan efectivamente a los compromisos climáticos nacionales y a la adaptación frente a los riesgos asociados al cambio climático, complementando el marco de evaluación existente

para identificar y priorizar proyectos que generen co-beneficios ambientales, sociales y económicos.

Las preguntas orientadoras del estudio incluyen: ¿Cómo asignar recursos para maximizar el bienestar social incluyendo mitigación y adaptación al CC? ¿Cómo promover el desarrollo acelerado de proyectos resilientes? ¿Cómo implementar medidas normativas y metodológicas vinculantes a través del SNI? ¿Cómo usar el precio social de carbono (actualizado 2025 por MDSF) en proyectos de infraestructura pública?

Principales brechas y problemas identificados

1. Vulnerabilidad de la infraestructura crítica

La infraestructura existente es vulnerable a los impactos crecientes del cambio climático. El enfoque costo-beneficio tradicional subestima los daños evitados y la continuidad operativa de la infraestructura resiliente, haciendo que las intervenciones resilientes en zonas aisladas o con menor población resulten "no rentables" bajo los criterios actuales de evaluación.

Los parámetros de diseño (caudales, oleaje, precipitaciones) se calculan con datos del pasado, subvalorando los beneficios de inversiones resilientes y aumentando el riesgo de obsolescencia prematura de la infraestructura. Esta práctica perpetúa un ciclo de sub-dimensionamiento que incrementa la exposición fiscal y social a eventos extremos futuros.

2. Brechas en la integración del cambio climático

Las principales brechas metodológicas e institucionales identificadas son:

- **Valoración económica limitada:** Dificultad para capturar beneficios intangibles de largo plazo (daños evitados, continuidad operativa, beneficios indirectos de SbN, costos de ciclo de vida completo). Ausencia de valores estandarizados nacionales para costos de interrupción de servicios, falta de cuantificación monetaria de beneficios por redundancia vial, e inexistencia de parámetros establecidos para valorar la reducción de tiempos de recuperación post-desastre.
- **Cobertura incompleta de amenazas:** Las metodologías actuales cubren parcialmente las amenazas hidrometeorológicas (inundaciones fluviales/pluviales, marejadas, subsidencia, flujos aluvionales, aumento del nivel del mar). La metodología complementaria del SNI no cubre actualmente amenazas como inundaciones y amenazas costeras con suficiente profundidad.
- **Ausencia de parámetros de referencia:** Faltan tablas estandarizadas para costos de interrupciones, pérdidas evitadas, factores de emisión de ciclo de vida, y protocolos unificados de cuantificación.

- **Incertidumbre climática no incorporada:** Predomina un Valor Actual Neto (VAN) único y determinista, sin análisis de robustez o escenarios múltiples. Los parámetros de diseño basados en datos históricos no reflejan las proyecciones climáticas futuras.
- **SbN sin marco de evaluación:** Los beneficios hidrológicos, de carbono y ecosistémicos de las SbN no son comparables económicamente con soluciones grises, dificultando su incorporación en la evaluación social.
- **PSC con limitada aplicación:** No existe sistematización de su aplicación por sectores ni inventarios GEI obligatorios a nivel de proyecto. El PSC está subutilizado en infraestructura pública, aplicándose explícita y sistemáticamente solo en proyectos ferroviarios y de Metro, limitándose a la reducción de emisiones operacionales sin considerar el carbono incorporado en materiales ni las emisiones de construcción.
- **Integración operativa incompleta:** Los avances metodológicos no se traducen sistemáticamente en TDR tipo, planillas de evaluación, checklists operativos o criterios de priorización.
- **Brechas de datos e interoperabilidad:** Información climática dispersa sin aplicación sistematizada en evaluación. Ausencia de repositorios compartidos con curvas IDF (Intensidad-Duración-Frecuencia), factores de emisión, y anexos de modelación tipo.

3. Riesgo fiscal y social

El enfoque predominante en la gestión de riesgos lleva a la priorización y ejecución de proyectos de adaptación principalmente en respuesta a emergencias, activando recurrentemente fondos de excepción. Esto resulta en:

- Mayor costo fiscal esperado y volatilidad presupuestaria.
- Obras que no superan la evaluación costo-beneficio en escenarios normales pero se ejecutan bajo presión de urgencia.
- Recursos destinados a reposiciones repetidas en lugar de diseños resilientes preventivos.

La vulnerabilidad territorial tiene escaso peso en la priorización, que se basa casi exclusivamente en la rentabilidad financiera, desatendiendo zonas de alta vulnerabilidad social y ambiental y perpetuando inequidades territoriales.

4. Barreras para la mitigación climática

Existen barreras estructurales que dificultan la redirección de recursos hacia proyectos con menor huella de carbono:

- **Utilización marginal del PSC:** Aunque el PSC ha evolucionado para reflejar el costo marginal de alcanzar la carbono neutralidad (US\$63,4 → US\$264,2/tCO₂e para 2024-2050), su falta de aplicación sistemática impide que cumpla su función como herramienta de gestión climática.
- **Ausencia de protocolo vinculante:** No existe un protocolo obligatorio para la integración sistemática del PSC y el cálculo explícito de emisiones de GEI en todos los proyectos de infraestructura pública.
- **Metodologías con enfoque parcial:** Las metodologías sectoriales actuales se centran en emisiones operativas, omitiendo el carbono embebido en materiales y las emisiones de construcción.
- **Priorización del ahorro de tiempo de viaje:** En proyectos viales, el beneficio por ahorro de tiempo de viaje (BATV) invisibiliza beneficios ambientales de alternativas con menor huella de carbono.
- **Falta de incentivos y herramientas:** El SNI carece de incentivos y herramientas para promover proyectos sostenibles desde fases iniciales.

Justificación del estudio

El estudio se justifica por la necesidad de promover cambios estructurales en la formulación y evaluación social de las inversiones de infraestructura pública en que se focaliza la consultoría. Esta transformación metodológica es fundamental para asegurar que las inversiones públicas contribuyan efectivamente a los compromisos climáticos nacionales y a la adaptación frente a los riesgos asociados al cambio climático.

Necesidad de metodología de evaluación social de adaptación

Actualmente, no existen parámetros estandarizados para cuantificar la adaptación de los proyectos de infraestructura en la evaluación social, lo que desincentiva el diseño de infraestructura más resiliente. El estudio busca formular una propuesta metodológica para la valorización social de la adaptación al cambio climático, centrada en la integración de parámetros simples para impulsar proyectos de infraestructura resiliente.

La herramienta propuesta busca apoyar al MDSF en el cumplimiento de su obligación normativa (Art. 53 LMCC) de evaluar la rentabilidad social de las iniciativas de inversión, asegurando la eficacia y eficiencia en el uso de fondos públicos y la disminución de los efectos adversos del cambio climático.

Precio Social del Carbono (PSC)

El estudio busca elaborar un procedimiento para la inclusión del PSC en proyectos del MOP, puntualmente en aquellos que contemplen medidas de mitigación al cambio climático. Es imprescindible integrar el PSC en todas las etapas del ciclo de vida del proyecto para que la mitigación sea un beneficio visible y auditable.

Alineación con compromisos internacionales

La LMCC establece obligaciones vinculantes para los organismos estatales en materia climática, orientadas hacia la carbono neutralidad y el fortalecimiento de la resiliencia. El estudio busca alinear las inversiones públicas con las necesidades de mitigación y adaptación, y con los compromisos climáticos nacionales (NDC, ECLP, presupuestos sectoriales de carbono).

Necesidad de integración temprana en preinversión

Considerando la necesidad de que los servicios de infraestructura y edificación pública sean resilientes frente a los impactos del cambio climático (MOP, 2017), se requiere la adecuación del SNI. Esto implica desarrollar metodologías y procedimientos específicos para valorar los beneficios de las medidas climáticas desde la fase de formulación, potenciando el desarrollo sostenible y garantizando un enfoque de infraestructura sostenible y resiliente tempranamente en el ciclo de vida de los proyectos (preinversión).

1-3. Objetivos del estudio (general y específicos) y preguntas guía

Objetivo general

Desarrollar una propuesta metodológica para:

1. La integración de la adaptación al cambio climático en la evaluación social de proyectos de infraestructura vial, hidráulica y portuaria del MOP.
2. La utilización del PSC en proyectos de infraestructura vial, hidráulica y portuaria del MOP.

Objetivos específicos

1. Formular una propuesta metodológica para la valorización social de la adaptación al cambio climático, según el ciclo de vida de los proyectos (preinversión), en coherencia con las metodologías complementarias para la evaluación de riesgo de desastres en proyectos de infraestructura pública.
2. Aplicar la propuesta metodológica en tres casos de estudio definidos por la contraparte técnica del MOP: (i) un proyecto de control aluvional y de manejo de cauce; (ii) un proyecto de protección de borde costero; y (iii) un proyecto de un puente.
3. Elaborar un procedimiento para la inclusión del PSC en proyectos del MOP, puntualmente en proyectos que contemplen medidas de mitigación al cambio climático.

Preguntas guía del estudio

El alcance de la investigación está orientado a responder las siguientes interrogantes:

1. ¿Cómo integrar explícitamente la adaptación al cambio climático en la evaluación social de proyectos de infraestructura del MOP, de manera que los beneficios de resiliencia sean cuantificables y comparables?
2. ¿Qué parámetros técnicos y económicos son necesarios para valorizar socialmente los beneficios de adaptación (daños evitados, continuidad de servicio, reducción de tiempos de recuperación)?
3. ¿Cómo aplicar el PSC de manera sistemática y estandarizada en proyectos de infraestructura que contemplen medidas de mitigación?
4. ¿Qué ajustes institucionales, metodológicos y operativos requiere el SNI para incorporar de manera efectiva la adaptación y mitigación climática en la fase de preinversión?
5. ¿Cuáles son las condiciones habilitantes (datos, capacidades, normativa, financiamiento) para la implementación gradual y escalable de estas metodologías?
6. ¿Cómo asignar recursos para maximizar el bienestar social incluyendo mitigación y adaptación al cambio climático?
7. ¿Cómo promover el desarrollo acelerado de proyectos resilientes mediante medidas normativas y metodológicas vinculantes a través del SNI?

1-4. Alcance: tipologías (DOH, DV, DOP), fase del ciclo de vida, supuestos y limitaciones

Tipologías de proyectos

El estudio se focaliza en el análisis de **tres tipologías de proyectos de infraestructura** del MOP, seleccionadas por su relevancia estratégica y vulnerabilidad a impactos climáticos:

Tabla 1-1.1. Tipologías de proyectos MOP consideradas en el estudio, según Dirección Ejecutora e impacto del cambio climático.

Tipología	Dirección Técnica	Amenazas climáticas principales
Control aluvional y manejo de cauces	Dirección de Obras Hidráulicas (DOH)	Flujos aluvionales, crecidas, inundaciones fluviales
Infraestructura vial (puentes)	Dirección de Vialidad (DV)	Crecidas, inundaciones, socavación
Protección del borde costero	Dirección de Obras Portuarias (DOP)	Marejadas, aumento del nivel del mar (SLR), erosión costera

Casos de estudio seleccionados

Para la identificación de atributos clave para la adaptación al cambio climático, se consideró el análisis de casos de estudio como el Proyecto de control aluvional AdaptaClima (Región de Antofagasta) y diseño resiliente de puentes (Región del Maule). La aplicación de la herramienta e indicadores propuestos se realizó en **tres casos de estudio**, seleccionados en conjunto con el MOP:

Tabla 1-1.2. Casos de estudio seleccionados para la aplicación de la herramienta BSAC.

Caso	Tipología	Amenaza principal	Región
Puente Los Vientos (Ruta ZK-426)	Infraestructura vial (DV)	Crecidas e inundaciones	Maule
Defensas Costeras Av. Perú y P. Juan de Saavedra	Protección de borde costero (DOP)	Marejadas y aumento del nivel del mar	Valparaíso
Quebrada Bonilla	Control aluvional (DOH)	Flujos aluvionales	Antofagasta

Fase del ciclo de vida

El estudio se limita a la **fase de preinversión** del ciclo de vida de los proyectos MOP en tres tipologías. El enfoque en preinversión permite influir en las decisiones de diseño, materialidad y localización antes de comprometer recursos en ejecución, maximizando el impacto de la integración climática. Esta fase incluye:

- **Idea / Perfil:** Identificación de problemas, alternativas preliminares, estimaciones de costos y beneficios.
- **Prefactibilidad:** Análisis de alternativas de solución, evaluación técnico-económica preliminar.
- **Factibilidad:** Diseño de ingeniería básica, evaluación social detallada, recomendación de ejecución.

Supuestos climáticos

Para el análisis de los casos de estudio y la identificación de atributos que adicionan adaptabilidad, se emplean dos escenarios climáticos utilizados en el diseño de proyectos de infraestructura en Chile. La fuente principal y rectora de los escenarios climáticos es el Sexto Informe de Evaluación del IPCC (AR6), que define los escenarios SSP (Shared Socioeconomic Pathways) utilizados en el estudio:

SSP2-4.5 (Moderado)

Representa un escenario de transición con mitigación parcial.

- Calentamiento proyectado: 2.5°C
- Horizonte temporal: 2030-2060 (futuro cercano)
- Probabilidad de ocurrencia: 60-70% según IPCC AR6
- Características: Desarrollo socioeconómico intermedio y políticas climáticas moderadas.

SSP5-8.5 (Severo)

Representa un escenario de alto riesgo con mitigación insuficiente.

- Calentamiento proyectado: 4.5°C
- Horizonte temporal: 2040-2070 (futuro lejano)
- Probabilidad de ocurrencia: 10-20% según IPCC AR6
- Características: Desarrollo económico intensivo en combustibles fósiles y alta emisión.

Las magnitudes de estos escenarios sugieren factores de ajuste mayores en SSP5-8.5 para:

- Precipitaciones extremas (incrementos de 20-40% en intensidad)
- Vientos y oleaje (aumentos en altura significativa de ola)
- Aumento del nivel del mar (60-120 cm para 2100)
- Frecuencias de eventos extremos (reducción de períodos de retorno)

Horizonte de evaluación y tasa social de descuento

El estudio propone **horizontes de evaluación extendidos** para infraestructura resiliente:

- **Horizonte tradicional SNI:** 20-30 años
- **Horizonte propuesto para infraestructura resiliente:** 75-100 años

Esta extensión permite capturar los beneficios de largo plazo de inversiones en resiliencia, que de otro modo serían invisibles en evaluaciones de corto plazo.

Con respecto a la Tasa Social de Descuento (TSD), la propuesta central es aplicar tasas diferenciadas según el escenario climático, en lugar de la TSD estándar del 5,5% del SNI. La lógica detrás de una tasa de descuento más baja es que incrementa el Valor Actual Neto (VAN) del proyecto, permitiendo una mejor captura de los beneficios a largo plazo de la infraestructura resiliente.

Existen dos enfoques posibles:

1. **Aplicar la tasa ajustada** únicamente al delta de beneficios atribuibles a las Medidas de Adaptación Climática (BSAC), manteniendo la tasa tradicional del 5,5% para los beneficios convencionales.
2. **Aplicar la tasa más baja** a la evaluación completa del proyecto. Esta opción es particularmente recomendable para proyectos cuyo objetivo principal es la adaptación climática y la resiliencia, como las obras de protección de borde costero o el control aluvional.

Tabla 1-1.3. Escenarios climáticos y tasas diferenciadas según escenario

Escenario	Tasa propuesta
SSP2-4.5 (moderado)	3% – 4%
SSP5-8.5 (severo)	2% – 3%

Nota sobre estatus de la propuesta de tasas diferenciadas:

Los dos enfoques descritos se presentan como propuestas técnicas para consideración del MDSF en el marco de la revisión periódica de parámetros del SNI. La adopción de cualquiera de ellos requiere decisión formal de este ministerio, dado que implica una modificación a los criterios de evaluación social vigentes. Los análisis de sensibilidad realizados en los tres casos piloto ([sección 4-2](#)) demuestran el impacto diferencial de cada tasa sobre el VAN y la relación B/C, generando la evidencia empírica inicial para sustentar esa discusión institucional.

Punto clave sobre trazabilidad

El estudio pone énfasis en que la validez de los supuestos depende de la trazabilidad de la información: cada proyecto debe documentar qué fuente usó, con qué resolución y en qué

fecha. Se propone formalizar esto mediante convenios interinstitucionales entre MOP, DGA, SHOA, SENAPRED y ARClím, y establecer un protocolo de actualización periódica alineado con el mejor conocimiento científico disponible.

Limitaciones

1. Limitaciones metodológicas y de datos

- El estudio **no contempla la generación de nuevos datos**, sino la identificación de atributos a considerar en la evaluación de las tipologías de proyectos en fase de preinversión, basándose en datos existentes de entidades nacionales (ARClím, CR2, DGA, SHOA, SENAPRED).
- Existe una **brecha crítica de datos para valorizar económicamente los beneficios de adaptación climática**, incluyendo: Ausencia de valores estandarizados nacionales para costos de interrupción de servicios; Falta de cuantificación monetaria de beneficios por redundancia vial; Inexistencia de parámetros establecidos para valorar la reducción de tiempos de recuperación post-desastre.
- Para solventar esta brecha, se utilizan **parámetros internacionales de referencia** (Canadá, Países Bajos, Australia, Reino Unido, Estados Unidos), que deberán ser adaptados y calibrados a la realidad nacional mediante proyectos piloto.

2. Limitaciones de institucionalización

La aplicación y validación de la herramienta requiere un proceso de institucionalización que incluye:

- **Establecimiento de fuentes de datos oficiales validadas** (MOP, DGA, SHOA, SENAPRED, ARClím).
- **Calibración de los rangos paramétricos propuestos** a la realidad nacional (diferenciación por macrozonas climáticas y validación con proyectos piloto).
- **Implementación de un protocolo de actualización periódica** de parámetros climáticos y económicos.

La legitimidad institucional y aprobación formal del MOP/MDSF son fundamentales, ya que la propuesta implica cambios en las metodologías tradicionales. Hay brechas críticas que escapan a los tiempos y alcances de la consultoría, como la validación institucional de fuentes de datos, calibración de parámetros climáticos a nivel regional y local, y revisión/ajuste de valores para el cálculo de beneficios por adaptación mediante proyectos piloto. La formalización requiere consenso institucional para la actualización de metodologías, RIS sectoriales y/o una Resolución Circular ministerial.

3. Limitaciones de alcance financiero

La consultoría aborda el financiamiento de infraestructura resiliente desde un **enfoque estratégico**, sin desarrollar análisis de sensibilidad financiera específicos ni estructuras financieras detalladas proyecto por proyecto, ya que esto excede el mandato de integración metodológica en el SNI. No se desarrollan análisis de sensibilidad financiera específicos ni estructuras financieras detalladas proyecto por proyecto, lo que requeriría un estudio complementario de factibilidad financiera.

4. Limitaciones de aplicabilidad del PSC

La propuesta metodológica para el PSC se enfoca en proyectos con componentes mitigadores explícitos. No todos los proyectos de infraestructura del MOP tienen oportunidades significativas de mitigación, por lo que la aplicabilidad del PSC debe evaluarse caso por caso según:

- Magnitud de emisiones del proyecto (umbral mínimo de relevancia).
- Disponibilidad de alternativas con menor huella de carbono.
- Factibilidad técnica y económica de medidas de mitigación.

5. Limitaciones de la Propuesta de Adecuación

La Propuesta de Adecuación para la integración de cambio climático tiene limitaciones específicas: propone una incorporación inicial, con énfasis en consistencia, trazabilidad y aplicabilidad temprana; no reemplaza estudios específicos de ingeniería ni acuerdos institucionales que puedan requerirse para una integración plena en evaluación y diseño detallado. Se trata de un informe que incorpora inicialmente el cambio climático en la etapa de formulación, limitado a las tres tipologías que enmarcan la consultoría, el cual seguirá siendo desarrollado por el MOP.

6. Limitaciones metodológicas

Las propuestas metodológicas presentadas responden específicamente a los objetivos y alcances que se han establecido para este estudio (según TdR).

1-5. Estructura del informe final y relación con productos de avance

Estructura de la consultoría

La consultoría inicialmente programada para 6 meses, se realizó en un período estimado de 8 meses y se estructuró en **cuatro fases de desarrollo**, asociadas a hitos y entregables específicos:

Fase 1: Diagnóstico y levantamiento de información

- Diagnóstico de brechas y oportunidades de mejora del SNI.
- Identificación de atributos clave de proyectos por tipología.
- Revisión de experiencia comparada internacional (Canadá, Países Bajos, Australia, Reino Unido, Estados Unidos).

Fase 2: Desarrollo de diseño metodológico y herramienta de adaptación climática

- Análisis de metodologías de evaluación social vigentes.
- Desarrollo de la herramienta de valorización de beneficios sociales por adaptación climática (BSAC).
- Definición de parámetros técnicos y económicos.

Fase 3: Validación y ajustes de la herramienta de adaptación climática

- Aplicación de la herramienta e indicadores propuestos en tres casos de estudio nacionales.
- Análisis de sensibilidad y robustez de resultados.
- Formulación de recomendaciones para el financiamiento de infraestructura resiliente.
- Taller participativo híbrido con profesionales MOP y servicios públicos colaboradores.

Fase 4: Implementación de instrumento de mitigación climática

- Análisis del PSC y su evolución en Chile.
- Identificación de oportunidades para su incorporación en proyectos del MOP.
- Elaboración de un procedimiento para la integración del PSC en proyectos de infraestructura con componentes mitigadores.

Esta estructura inicial se enriqueció con el desarrollo de una Propuesta de Adecuación para la integración del cambio climático, elaborada conjuntamente por el equipo consultor y el DSyCC de la DGOP. Dicha propuesta incorpora la fase de formulación de proyectos, complementando así el trabajo ya desarrollado en materia de evaluación, y habilitando una incorporación temprana, clara y trazable del cambio climático en el ciclo completo de inversiones.

Hitos y plazos de la consultoría

Los hitos y sus plazos fueron:

Tabla 1-1.4. Síntesis de hitos y contenidos (según TdR)

Hito	Contenido
Cronograma de trabajo	Cronograma de trabajo detallado con actividades e hitos
Informe N°1	Fase 1 Diagnóstico y levantamiento de información Fase 2 Desarrollo metodológico y herramienta de adaptación
Informe N°2	Fase 3 Validación y ajustes de la herramienta de adaptación climática
Propuesta de Adecuación	Propuesta de Adecuación para Integración de CC en Formulación
Informe N°3	Fase 4 Implementación de instrumento de mitigación climática
Informe Final	Consolidación de los insumos parciales

Se contemplaron reuniones semanales o quincenales, reuniones de presentación de resultados intermedios, talleres de análisis, discusión y validación de resultados, y una reunión de difusión de resultados finales.

Relación entre productos de avance e informe final

Informe N°1 (E1_Reporte 1_V3)

Consolida los hallazgos de la Fase 1 (Diagnóstico y levantamiento de información) y la Fase 2 (Desarrollo metodológico y herramienta de adaptación). Incluye:

- Diagnóstico de brechas y oportunidades del SNI.
- Lecciones internacionales de evaluación basada en riesgo.
- Análisis preliminar de casos de estudio nacionales.
- Descripción de la propuesta metodológica BSAC.
- Síntesis de entrevistas con actores clave del MOP y MDSF.

Informe N°2 (E2_Reporte 2_V2)

Consolida los hallazgos de la Fase 3 (Validación y ajustes de la herramienta de adaptación climática). Incluye:

- Resultados de la aplicación de la herramienta BSAC en tres casos de estudio.
- Análisis de sensibilidad y robustez.
- Taller participativo de revisión y ajustes (con aproximadamente 50 profesionales del MOP y servicios públicos colaboradores).
- Recomendaciones para el financiamiento de infraestructura resiliente (bonos verdes/azules, Taxonomía T-MAS, mecanismos del Artículo 6, Fondo para Pérdidas y Daños).
- Plan de acción para la implementación gradual de la herramienta BSAC.

Propuesta de Adecuación para Integración de CC en Formulación

Documento complementario que operacionaliza la integración climática en la fase de formulación (corto plazo). Elaborada conjuntamente por el equipo consultor y el DSyCC de la DGOP. Incluye:

- Integración climática en Situación Sin Proyecto (SSP) y Situación Con Proyecto (SCP).
- Análisis amenaza-exposición-vulnerabilidad-riesgo (A-E-V-R).
- Lectura territorial por macrozonas climáticas.
- Árbol de decisión/checklist para alternativas de solución.
- Medidas de resiliencia por tipología (grises, SbN, híbridas).
- Ajustes operativos en planillas de anexos.

Informe N°3 (E3_Informe 3_V1)

Consolida los hallazgos de la Fase 4 (Implementación de instrumento de mitigación climática). Incluye:

- Análisis del PSC y su evolución en Chile (US\$4-8 → US\$63,4-264,2/tCO₂e).
- Diagnóstico de brechas metodológicas e institucionales para la integración del PSC.
- Propuesta metodológica para la inclusión del PSC basada en Análisis de Ciclo de Vida (ACV).
- Identificación de medidas de mitigación por tipología (materialidad, logística, eficiencia energética, gestión de residuos).
- Procedimiento para cuantificación y valoración de emisiones de GEI.

Estructura del informe final consolidado

El presente informe final consolida y sintetiza los cuatro productos de avance (E1, E2, Propuesta de Adecuación, y E3), eliminando redundancias y organizando el contenido en una estructura coherente. La estructura del informe final organiza el contenido en capítulos que van desde:

- **Capítulo 1 - Introducción y marco de referencia**, desarrolla una introducción y el marco de referencia del estudio.
- **Capítulo 2 - Propuesta de adecuación**, incluye la propuesta metodológica de integración de la adaptación climática en fase de formulación.
- **Capítulo 3 - Diagnóstico y diseño de herramienta**, incluye la propuesta metodológica de integración de la adaptación climática en evaluación social. Para su formulación se analizan buenas prácticas y oportunidades en tres casos de estudio nacionales, y se extraen lecciones internacionales desde el análisis de la integración climática en la evaluación de proyectos de infraestructura en cinco países.
- **Capítulo 4 - Aplicación de herramienta**, incluye la validación y ajustes de la herramienta de adaptación climática mediante su aplicación en tres casos de estudio, incluyendo un análisis de sensibilidad para cada caso. Además, se desarrollan recomendaciones para el financiamiento de infraestructura resiliente y plan de acción para la implementación gradual de la herramienta BSAC.
- **Capítulo 5 - Procedimiento de integración del PSC**, se focaliza en la implementación del PSC como instrumento de mitigación climática.
- **Capítulo 6 - Recomendaciones y conclusiones**, ofrece una síntesis de las principales recomendaciones y conclusiones

Esta estructura está diseñada para guiar eficientemente a la audiencia técnica y política (MOP, MDSF, BID). El recorrido comienza con el marco de referencia de la consultoría, avanza a través de los componentes técnicos y metodológicos, y culmina con la identificación de las principales conclusiones y recomendaciones. Este enfoque facilita la toma de decisiones informada sobre la integración climática en el SNI.



Capítulo 2.

Propuesta de Adecuación

2. Propuesta de adecuación para la integración de cambio climático: Etapa de Formulación

El cambio climático introduce cambios en las tendencias climáticas históricas que pueden generar cambios en la ocurrencia, recurrencia e impactos de las amenazas climáticas presentes en un territorio. En tipologías de obras como puentes, control aluvional y protección del borde costero, estos cambios pueden afectar la continuidad, capacidad y el desempeño de la infraestructura, afectando los estándares de prestación de servicios.

La incorporación del cambio climático permite una lectura dinámica del territorio que contribuye a robustecer la identificación del problema y el diagnóstico territorial, entregando insumos para definir adecuadamente el área de estudio y el área de influencia y para orientar la identificación de alternativas de proyectos de infraestructura efectivas y resilientes durante toda su vida útil.

El propósito de la Propuesta es habilitar una incorporación temprana, clara y trazable del CC en la formulación, de modo que el tema pueda ser abordado de manera consistente en la coordinación interministerial y apoye su consideración desde etapas iniciales del ciclo de inversión. En línea con ello, la Propuesta persigue dos objetivos: (1) guiar de forma inicial y sistemática la integración del CC en formulación para fortalecer la comunicación y el entendimiento común sobre CC entre actores sectoriales y del SNI; y (2) servir como insumo para futuras mejoras metodológicas y el desarrollo de guías más completas sobre integración del CC en formulación.

Alcance de la propuesta

- Esta aproximación se alinea con la Metodología General para la Formulación y Evaluación de Proyectos de Inversión Pública (MG, en adelante) al exigir una definición robusta de la Situación Sin Proyecto como línea base para una comparación incremental (qué cambia por efecto del proyecto),¹ evitando sobreestimar beneficios y asegurando trazabilidad entre diagnóstico, alternativas y solución; Además, incorpora la optimización de la oferta antes de justificar una inversión mayor (MDSF, 2025a).²
- A la vez, se alinea con la Metodología Complementaria para la Evaluación de Riesgo de Desastres (MCERD, en adelante) al estructurar el análisis en torno a amenaza, exposición, vulnerabilidad y resiliencia,³ permitiendo evaluar de manera consistente el riesgo y las medidas para reducirlo (MDSF, 2025b).

¹ Ver “II.1.2. Definición de la Situación Sin y Con Proyecto”, donde se establece la comparación en términos marginales (incrementales) entre Situación Sin y Con Proyecto (MDSF, 2025a).

² Ver definición y exigencia de análisis de “Optimización de la oferta” en “II.1.2” y desarrollo en “II.3.4.2. Optimización de la Oferta” (MDSF, 2025a).

³ Ver “II.3.1. Identificación del Área de Estudio y del Área de Influencia” (incluye “II.3.1.1 Área de Estudio” y “II.3.1.2 Área de Influencia”) (MDSF, 2025a).

Esta guía no es un documento vinculante, sino indicativo, y tiene como objetivo sistematizar la integración temprana del cambio climático en la tipología del SNI de proyectos de inversión, en tres tipos de proyectos de infraestructura MOP: puentes, control aluvional y protección de borde costero que estén ubicados en zonas de riesgo climático, tanto a obras nuevas como existentes que requieran mantenciones o reposiciones debido a eventos climáticos, y relacionado con las siguientes amenazas climáticas (Tabla 2-1):

Tabla 2-1. Tipologías y amenazas climáticas abordadas por la propuesta de adecuación

Tipología de infraestructura	Amenaza climática	Modo de falla infraestructura	Potenciales impactos
Puentes	Precipitaciones intensas, inundaciones	Socavación de estribos, corte de conectividad, inundación de accesos, erosión.	Anegación en vías terrestres; afectación de la seguridad y funcionalidad de las vías de comunicación.
Control aluvional	Precipitaciones intensas, inundaciones	Desborde por excedencia, colmatación, desvío no controlado y/o destrucción de defensa fluvial.	Sobrepase y/o destrucción de defensa fluvial; superación de caudales máximos; rotura de compuertas de embalses e infraestructura de riego; sobrecarga de sistemas de drenaje; arrastre y acumulación de sedimentos.
Protección del borde costero	Marejadas Incremento del nivel del mar	Sobrepase, erosión y pérdida de funcionalidad, socavación de la base.	Arrastre de sedimentos y pérdida de playas; desborde de ríos en desembocaduras; afectación dinámica natural de estuarios. Aumento de vulnerabilidad de zonas costeras a inundaciones y erosión; mayores costos de mantenimiento y adaptación.

Considerando el principio de proporcionalidad en la evaluación ex ante de MDSF (2025a), se recomienda aplicar esta propuesta a proyectos de nivel 2 (Análisis estándar) y nivel 3 (Análisis enriquecido para proyectos de gran envergadura o complejidad), y que postulen desde la fase de preinversión y/o diseño.

Propuesta de adecuación

Se propone el considerar el riesgo climático a través de la metodología del árbol de decisión, análisis que permitirá complementar los análisis relativos a: población, demanda y/o la oferta actual y proyectada.

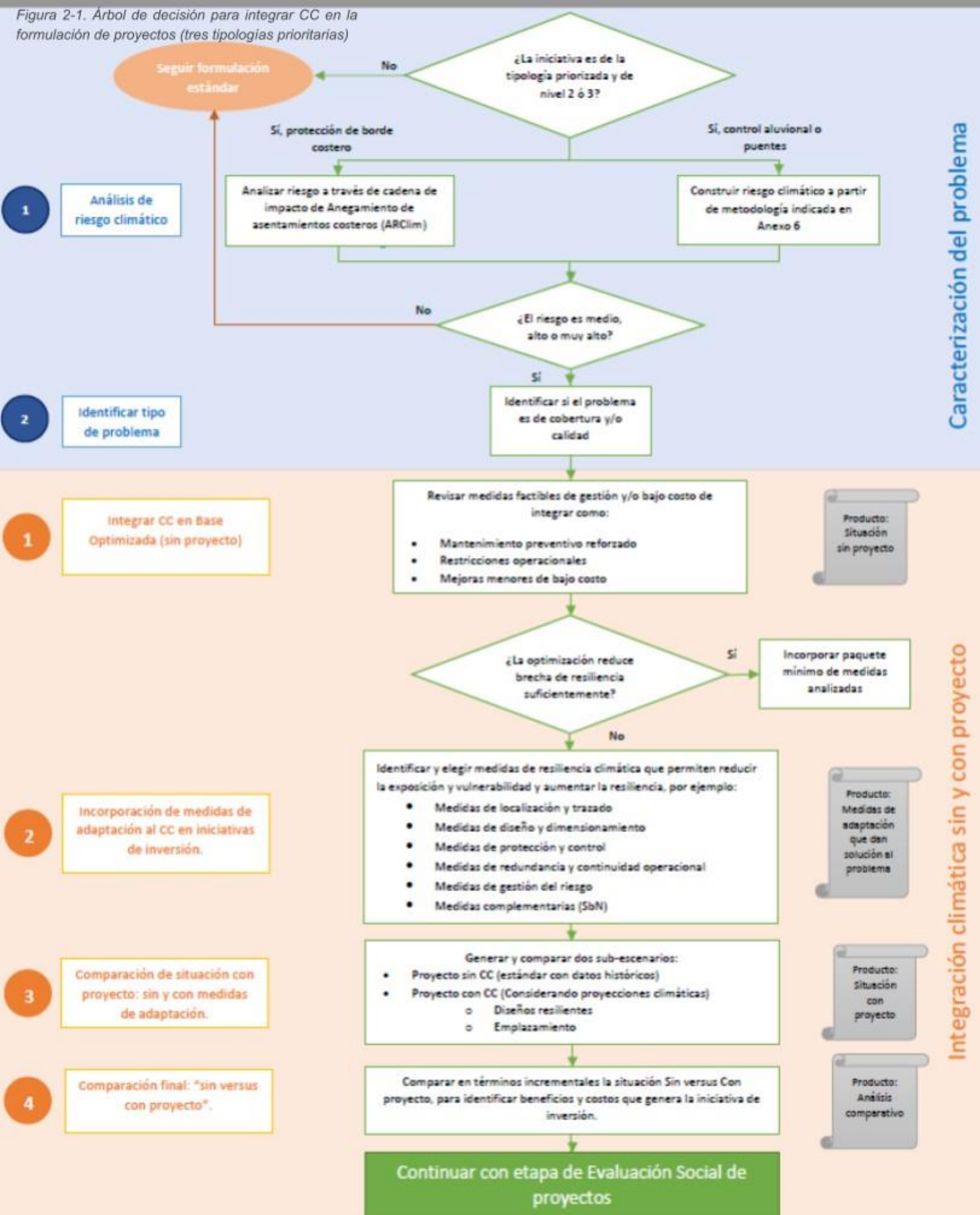
El árbol de decisión, dispone de un flujo estándar de decisiones (sí/no) para integrar CC en la formulación, coherente con evaluación, y con criterios mínimos verificables. Mediante este, se estandariza puntos de decisión y criterios de integración de CC, ordenando cuándo aplicar escenarios, cómo verificar riesgo significativo, cuándo registrar integración no significativa, y cuándo activar alternativas y medidas de resiliencia con trazabilidad. Se recomiendan fuentes secundarias disponibles con datos del gobierno de Chile e instituciones académicas, organizadas por amenaza como insumo complementario para la formulación de proyectos (Ver [Anexo 2-3](#)).

Se sintetiza, en un formato visual, el flujo operativo que guía la toma de decisiones para incorporar el cambio climático en la formulación de iniciativas de inversión. A través de una secuencia de preguntas binarias, el diagrama muestra los principales “puntos de paso” del proceso —desde la verificación de que la iniciativa corresponde a una tipología priorizada, hasta el cierre con un chequeo de consistencia y salidas mínimas para evaluación—, explicitando además los casos en que corresponde registrar una integración no significativa y aquellos en que se debe avanzar hacia medidas de optimización o la formulación de alternativas con foco en reducción de exposición/vulnerabilidad y aumento de resiliencia. En este sentido, la siguiente figura funciona como una ruta de navegación para asegurar trazabilidad y comparabilidad en la aplicación del enfoque (Figura 2-1).

Árbol de Decisión: Integración CC en fase Formulación

Caracterización del problema

Integración climática sin y con proyecto



Nodos árbol de decisiones

Confirmar tipología: ¿la iniciativa corresponde a puente, control aluvional o borde costero?

Caracterización del Problema

1. Analizar el emplazamiento del proyecto en cuanto al riesgo climático

- Se solicita revisar la cadena de anegamiento en caso de borde costero a través del Mapa de riesgo climático de ARCLim (Ver [Anexo 2-1](#)).
- En el caso de control aluvional y puentes, se debe construir el riesgo climático que se encuentra expuesto el proyecto (Ver [Anexo 2-6](#))

Clasificación del nivel de riesgo climático: se clasifica cualitativamente mediante una ficha simplificada en 3 niveles de relevancia (Ver [Anexo 2-5](#)).

2. Identificación del Problema: ¿Existe afectación en continuidad, capacidad y desempeño para las amenazas/impactos identificados?

- No: Explicitar cómo el CC afectará a la continuidad, capacidad y desempeño (CCD) en situación sin y con proyecto.
- Sí: Elaborar matriz de amenaza/impacto/operación CCD (normal vs evento).

Integración Climática sin y con Proyecto

1. **Identificación de medidas (Optimización de oferta):** Existen medidas de bajo costo/gestión suficientes para reducir la brecha de resiliencia? Se busca reducir exposición/vulnerabilidad y mejorar CCD, se construye una matriz de resiliencia climática del proyecto. Si aplica incorporar paquete mínimo O&M, protocolos, monitoreo (responsables + costos).
2. **Si es insuficiente incorporar medidas de adaptación al cambio climático:** enfocadas en planificación y/o diseño para reducir exposición y vulnerabilidad y aumentar resiliencia.
3. **Comparación de situación con proyecto: sin y con medidas de adaptación:** Generar y comparar dos sub-escenarios. Uno de ellos es considerando datos climáticos históricos, y el otro con datos proyectados según el cambio climático.
4. **Comparación final sin y con proyecto:** esta comparación tiene por finalidad describir el beneficio de ejecutar la iniciativa de inversión, especificando además las medidas de adaptación al cambio climático.

Continuar con etapa de Evaluación Social de proyectos

2-1. Caracterización del problema

La identificación del problema debe explicitar cómo el cambio climático puede acrecentar las amenazas climáticas y cómo estas interactúan con la exposición y vulnerabilidad del territorio. Se debe robustecer la definición del problema, asociando el cambio climático como una causa directa o indirecta del problema a resolver.

Según MDSF (2025a), la observación de la realidad es una vía para identificar el problema. En consecuencia, la caracterización del territorio debe incorporar el análisis del riesgo climático a partir de evidencia observable de los impactos climáticos y la descripción de los componentes de este riesgo. Para esta caracterización se debe realizar bajo el enfoque metodológico de la Figura 2-2, considerando los siguientes aspectos:

2-1.1. Análisis de riesgo climático

El análisis de riesgo climático consiste en analizar los componentes del riesgo, con metodologías diferenciadas por tipología:

1. Protección de Borde Costero: Análisis de cadenas de impacto de anegamientos de asentamientos costeros, detallada en el Anexo 2-1, en la que se establece el nivel de riesgo futuro, considerando la amenaza de marejadas y aumento del nivel del mar.
2. Control aluvional y puentes: Se debe construir el riesgo climático a partir del análisis de la amenaza climática específica (precipitaciones intensas, inundaciones) a partir de la metodología detallada en el Anexo 2-6, que consiste en convertir datos de modelos de circulación general de la atmósfera, disponibles en escalas espaciales y temporales inadecuadas para su uso hidrológico, mediante procesos de escalamiento y corrección de sesgo, en series de datos de variables climáticas (por ej., precipitación y temperatura) con las características espacio-temporales necesarias para su uso en un modelo hidrológico, para el cálculo de caudales de diseño con datos futuros. Además, se debe analizar:
 - a. Exposición, tanto de infraestructura crítica como de la población afectada por la falla de la infraestructura de la iniciativa de inversión en el área de influencia; y
 - b. Vulnerabilidad, propia de la infraestructura (por ej., vulnerabilidad hidráulica de la obra), que afecte su funcionalidad (capacidad de prestación y continuidad del servicio), como social (características de la población usuaria, grupos vulnerables al cambio climático).

De este modo, el problema se robustece a partir del análisis territorial en un contexto de condiciones de riesgo en que se considere explícitamente el cambio climático. La caracterización del riesgo climático en el territorio del proyecto se incorpora como una causa estructural indirecta o como un factor agravante del problema, ya que puede alterar los niveles de amenaza y las condiciones de operación. Así, el problema no se expresa sólo a través de la

situación actual basada en condiciones climáticas históricas, sino que considerando su variabilidad en el tiempo dados los cambios en las tendencias climáticas (Figura 2-2).

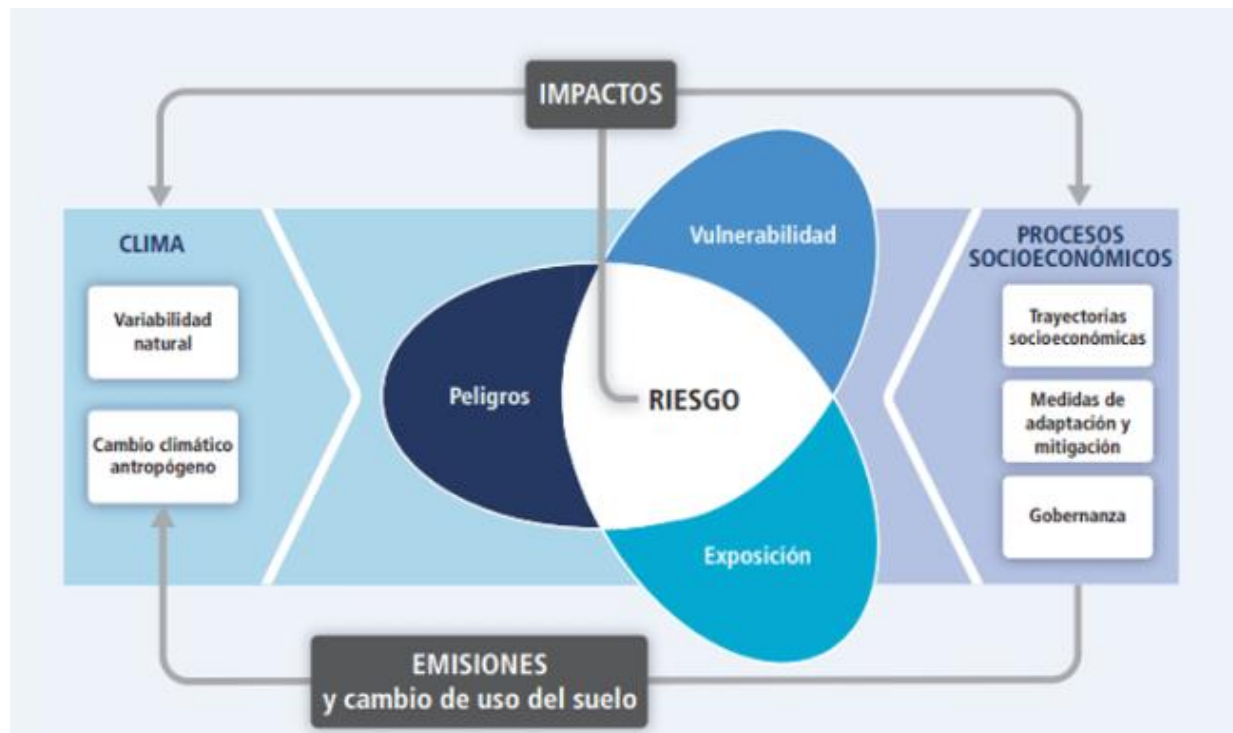


Figura 2-2. Componentes del riesgo climático. Fuente: IPCC, 2014.

2-1.2. Identificación del tipo de problema considerando el cambio climático

Para concluir la identificación del problema, se debe detallar con exactitud cómo el cambio climático podría exacerbar el problema que origina la necesidad de infraestructura, ya sea porque existe una cobertura de servicio insuficiente y/o incide en la calidad del servicio. Asimismo, detallar con claridad si el riesgo climático es parte de los efectos principales del problema o es más bien, parte de la causa que lo origina.

La identificación del tipo de problema corresponde a cobertura insuficiente y/o calidad deficiente.

Tabla 2-2: Identificación de Tipo de Problema Considerando Cambio Climático. Fuente: Elaboración propia.

Contenido solicitado por la MG	Vínculo con cambio climático
Cobertura insuficiente	Si el riesgo climático está categorizado como alto/muy alto, afectará la capacidad, desempeño y cobertura en términos cuantitativos del servicio que prestará la infraestructura en términos cuantitativos. Si se da esta condición, el problema es de cobertura insuficiente.
Calidad deficiente	Si el riesgo climático está categorizado como medio/alto puede afectar la capacidad y desempeño de la infraestructura en términos cualitativos, poniendo en riesgo la calidad del servicio, por ejemplo, se requiere más barras de refuerzos en puentes o vigas más robustas, etc, Si se da esta condición, el problema es de calidad deficiente.

En ambos casos, es conveniente observar sus efectos y definir sus causas, para luego caracterizarlo en función de estos elementos.

Tabla 2-3: Descripción de Causas y Efectos Principales Considerando el Cambio Climático. Fuente: Elaboración propia.

Contenido solicitado por la MG	Vínculo con cambio climático
Efectos Principales	Efectos: cierres, daños recurrentes, pérdida de conectividad, riesgo a la seguridad, costos crecientes
Causas Principales	Causas climáticas: cambios en intensidad/frecuencia de eventos (precipitaciones extremas, marejadas, nivel del mar). Causas no climáticas: urbanización en zonas expuestas, degradación de cauces/dunas, cambios de uso de suelo, diseño subdimensionado, falta de mantenimiento, etc.

Abordaje por tipología

La siguiente tabla sintetiza el abordaje por tipología, vinculando para cada tipo de infraestructura: Causas (amenazas asociadas al clima) y Efectos (incluyendo caracterización del problema, patrones territoriales más frecuentes y un set de indicadores simples). La identificación de muchos elementos permiten apoyar el diagnóstico y la priorización de medidas.

Tabla 2-4. Incorporación de Cambio Climático en la Caracterización del Problema según Tipología de proyecto.
Fuente: Elaboración propia.

Tipología	Causas (amenazas asociadas al clima)	Efectos		
		Cómo se caracteriza el problema	Patrones territoriales	Indicadores simples
Puentes (conectividad vial y seguridad estructural)	Crecidas más intensas, socavación, desbordes e inundación de accesos.	Interrupción recurrente o potencial pérdida de conectividad por excedencia hidráulica y socavación, afectando rutas críticas (salud, abastecimiento, evacuación).	Cruces en cauces activos, erosión lateral, confluencias, cuencas de rápida respuesta, accesos en cotas bajas.	Número/duración de cortes, recurrencia de daños en estribos/acceso, restricciones de tránsito, costos de reparación.
Control aluvional (protección de áreas expuestas a flujos con sedimentos)	Lluvias intensas concentradas, remociones en masa, flujos aluvionales y arrastre de sedimentos.	Amenaza al territorio por desbordes/aluviones que superan la capacidad de conducción/retención, con impacto en viviendas, rutas y servicios.	Quebradas con antecedentes, conos de deyección urbanizados, pendientes fuertes, cuencas degradadas, estrangulamientos/obstrucciones, áreas de depósito.	Volumen de sedimentos movilizados, frecuencia de colmatación, áreas afectadas, cierres de caminos y daños a infraestructura crítica.

Tipología	Causas (amenazas asociadas al clima)	Efectos		
		Cómo se caracteriza el problema	Patrones territoriales	Indicadores simples
Protección de borde costero (continuidad de uso y defensa frente a inundación/erosi ón)	Marejadas, inundación costera, erosión y aumento del nivel del mar (y, donde aplique, interacción con tormentas).	Pérdida de funcionalidad por sobrepasos, erosión y daños recurrentes, afectando la vialidad, equipamiento, servicios y seguridad pública.	Retroceso de línea de costa, puntos bajos inundables, estructuras expuestas sin disipación, pérdida de dunas/playas, interferencias con drenajes.	Cierres por marejadas, daño recurrente de defensas/paseos , tasas de erosión, pérdidas de playa y costos de reposición.

Ver mayor información sobre la tabla guía para la caracterización del problema por tipología y listado de verificación en el [Anexo 2-4](#).

2-2. Integración climática en la situación sin y con proyecto

Según lo señalado en la Metodología General (MDSF, 2025a), se debe definir con la mayor precisión posible la situación sin proyecto, para contrastar con la situación con proyecto, de tal forma que la comparación de ambas situación refleje los verdaderos beneficios y costos que genera el proyecto a la sociedad (Figura 2-3).



Figura 2-3: Esquema General de Categorización y Optimización. Fuente: MDSF, 2025a.

Cabe destacar lo indicado en la Metodología General, en relación a que la fase de formulación es un proceso iterativo, que no constituye un proceso lineal, es decir “se plantea la hipótesis del problema y luego se contrasta con el diagnóstico, tras lo cual la hipótesis podría modificarse o replantearse, lo que se repite hasta confirmarla o descartarla” (MDSF, 2025a).

Tabla 2-5. Síntesis de situación sin proyecto, optimizada y con proyecto. Fuente: Elaboración propia.

Situación actual	Caracterización basada en amenazas históricas observadas y estado actual de la situación de demanda, oferta y déficit del bien o servicio.
Situación base	Se incorporan los escenarios climáticos (SSP2-4.5 y SSP5-8.5) para proyectar la situación actual (basada en el pasado) en las ventanas climáticas definidas, para incorporar la evolución de la amenaza climática en el horizonte de evaluación.
Situación Sin Proyecto (Situación Base Optimizada)	Luego de aplicar medidas de bajo costo para optimizar la situación base, se define la Situación Base Optimizada, siendo la línea base que permite identificar la brecha de resiliencia.
Situación Con Proyecto	Escenario futuro con ejecución y operación de alternativas de inversión. Se deberá desarrollar dos subescenarios: sin cambio climático y con cambio climático. Esto permitirá identificar el beneficio incremental de la resiliencia, identificando cuándo del costo del proyecto corresponde a la situación estándar y cuánto es un “sobrecosto” de la adaptación necesaria para enfrentar los impactos del CC. Además, ayuda a la identificación de beneficios por daños evitados o continuidad de servicio ante eventos extremos futuros.

En infraestructura, la brecha de resiliencia climática se refiere a la diferencia entre el nivel de resiliencia que las infraestructuras deberían tener para enfrentar los impactos del cambio climático (inundaciones, olas de calor, tormentas, sequías, etc.) y el nivel real de resiliencia que actualmente poseen.

2-2.1. Integración del CC en la Situación Base Optimizada (sin proyecto)

La optimización desde la perspectiva climática considera medidas que pueden implementarse sin inversión estructural significativa, como por ejemplo:

- **Mantenimiento preventivo reforzado:** Limpieza de cauces, revisión de drenajes, inspección post-evento.
- **Restricciones operacionales:** Limitación de carga, horarios de operación según condiciones climáticas.
- **Mejoras menores de bajo costo:** Refuerzo puntual, señalización, accesos de inspección.

Si la optimización de la oferta no reduce la brecha de resiliencia suficientemente se procede a formular alternativas de inversión estructural (Situación Con Proyecto). La aplicación de este paso intermedio asegura que la comparación incremental "Sin vs Con" se realice respecto a una línea base optimizada, que ya incorpora las mejoras posibles de bajo costo, evitando sobreestimar los beneficios del proyecto de inversión.

2-2.2. Integración de CC en la Situación Con Proyecto

La situación con proyecto debe mostrar qué se mejora y por qué, vinculando explícitamente cada componente del proyecto con el factor de riesgo climático que reduce y/o con la resiliencia que agrega. Se debe considerar el desarrollo de dos sub-escenarios: sin cambio climático, y con cambio climático, para identificar el beneficio incremental de la resiliencia.

La integración del cambio climático considera dos aspectos:

- Diseños resilientes: modelación utilizando variables climáticas proyectadas bajo dos escenarios futuros (moderado y severo).
- Emplazamiento de la iniciativa de inversión: evaluar la exposición de la iniciativa de inversión para efectuar cambios de localización, de ser factibles.

*Tabla 2-6. Componentes de riesgo climático/ resiliencia que la situación con proyecto beneficia a la sociedad.
Fuente: Elaboración propia.*

Integración CC	Componente del riesgo climático/ resiliencia	Descripción	Recomendación práctica
Emplazamiento de la iniciativa de inversión	Reducción de exposición	Disminuir la presencia de elementos críticos en zonas donde la amenaza impacta con mayor frecuencia o severidad (actual y futura).	Mapear exposición actual y a futuro (inundación, erosión, aluviones) para justificar el emplazamiento elegido (o la imposibilidad de moverlo). ⁴
Diseños resilientes	Reducción de vulnerabilidad	Reducir probabilidad de falla y magnitud del daño mediante diseño resiliente y obras de protección (p. ej., fundaciones, encauzamientos, defensas).	Declarar modos de falla críticos (socavación, sobrepaso, erosión, obstrucción por sedimentos) y cómo cada componente del proyecto los reduce.
Diseños resilientes y/o emplazamiento de la iniciativa de inversión	Aumento de resiliencia	Contribuir a la calidad y cobertura, continuidad y recuperación rápida al asegurar que el sistema pueda seguir operando o recuperar servicio rápidamente frente a eventos extremos actuales y futuros.	Definir un paquete mínimo de resiliencia por tipología: rutas alternas o desvíos temporales (puentes), capacidad adicional de derivación/retención (control aluvional) y soluciones modulares o reparables por etapas (borde costero).

⁴ Ver "II.4.1" (variables de alternativas), especialmente "Localización", que incluye accesibilidad, seguridad y gestión del riesgo de desastres, topografía y condiciones climáticas/ambientales como criterios de localización (MDSF, 2025a).

Tabla 2-7. Identificación de beneficios considerando el riesgo climático por Tipología en Situación con Proyecto.
Fuente: Elaboración propia.

Tipología	Reducción de exposición	Reducción de vulnerabilidad	Aumento de resiliencia
Puentes	Ajustar emplazamiento y geometría del cruce para minimizar exposición a crecidas (p. ej., mayor luz, estribos/apoyos fuera de zonas críticas, accesos en cotas seguras).	Reforzar diseño y protecciones para disminuir probabilidad de falla (p. ej., protección de fundaciones, obras de encauzamiento, drenaje adecuado, materiales resistentes).	Mantener conectividad y recuperación rápida mediante alternativas operacionales (p. ej., desvíos temporales planificados, rutas alternas, bypass en accesos).
Control aluvional	Ubicar obras y planificar el uso del suelo para evitar contacto del flujo con zonas urbanas (p. ej., intervenciones aguas arriba, fajas de protección en conos/quebradas activas).	Dimensionar y robustecer obras frente a caudales sólidos y picos intensificados (p. ej., disipación de energía, retención/laminación, encauzamientos con capacidad para sedimentos).	Reducir consecuencias de excedencias y acelerar restablecimiento con soluciones redundantes (p. ej., obras en serie, derivación/retención adicional y sobrepaso controlado).
Protección del Borde costero	Retroceso planificado o ajuste de la línea de infraestructura (paseos, vialidad, defensas) fuera de zonas de inundación (p. ej., retroceso planificado, franjas de resguardo y cotas mínimas).	Mejorar desempeño ante oleaje y erosión reduciendo daño recurrente (p. ej., protección de pie, materiales durables, defensas con estándar climático, soluciones híbridas).	Facilitar reparación por etapas y ajuste progresivo mediante soluciones modulares (p. ej., defensas por tramos, elementos reemplazables, diseño escalable).

2-2.3. Análisis de comparación situación “Sin versus Con proyecto” con cambio climático

Para facilitar comparabilidad, se sugiere incorporar métricas simples “antes/después” de acuerdo con la tipología y localización del proyecto (MDSF, 2025a).⁵ Ver ejemplos en [Anexo 2-2](#).

Finalmente, se deben realizar las siguientes actividades que den cuenta de la adicionalidad de cambio climático en la iniciativa de inversión:

- **Incorporar una matriz comparativa “Sin vs Con Proyecto” por tipología:** incluir amenaza (actual/futura), exposición, vulnerabilidad (física/funcional/social) y riesgo, indicando fuentes, supuestos y modo de falla/interrupción esperado. Ver [Anexo 2-2](#).
- **Definir y mapear el área de influencia como base común de análisis:** delimitar y mapear el sistema evaluado (infraestructura principal + obras asociadas + entorno inmediato que condiciona operación).
- **Utilizar al menos dos escenarios climáticos para contrastar desempeño:** evaluar Sin y Con Proyecto bajo SSP2-4.5 y SSP5-8.5, con horizonte coherente con la vida útil, considerando al menos dos ventanas climáticas (Futuros Cercano y Lejano); el objetivo es evidenciar la solidez del proyecto y argumentar la necesidad de mejorar la resiliencia (IPCC, 2023).
- **Redactar la comparación en términos incrementales (qué cambia por el proyecto):** redactar resultados como diferencial atribuible al proyecto (qué riesgo se reduce, qué continuidad y recuperación mejora), usando indicadores comparables, considerando dos subescenarios (sin y con cambio climático).

2-3. Identificación y caracterización de alternativas de solución

La infraestructura resiliente se refiere a aquellos proyectos de infraestructura que se planifica, diseña, construye, opera para anticipar, absorber, adaptarse y recuperarse frente de los efectos adversos del cambio climático, manteniendo su función esencial a lo largo de su vida útil. En formulación, esto implica mirar el sistema y su territorio (amenazas, exposición y vulnerabilidad) para evitar que la infraestructura pierda funcionalidad bajo condiciones climáticas distintas a las históricas. Incorporar resiliencia en formulación permite dimensionar correctamente el déficit y estructurar alternativas (estructurales y de gestión) consistentes con amenazas actuales y futuras.

En tipologías como puentes, control aluvional y protección del borde costero, la resiliencia se expresa en la capacidad de sostener estándares de servicio ante crecidas y arrastre (por

⁵ Ver “II.4.3. Caracterización de las Alternativas de Solución”, que requiere descripción física, costos de inversión y reinversiones, y caracterización de costos de operación y mantenimiento (MDSF, 2025a).

ejemplo, socavación y cortes de conectividad), aluviones y transporte de sedimentos que superan umbrales operacionales, o marejadas y erosión que deterioran defensas y afectan infraestructura crítica.

2-3.1. Medidas de resiliencia climática

Esta sección presenta un set acotado de alternativas de solución y medidas de resiliencia climática que permiten abordar el riesgo a partir de (i) reducir exposición (evitar ubicaciones o elementos críticos en zonas de mayor impacto), (ii) reducir vulnerabilidad (mejorar diseño y protecciones para disminuir daño o falla), y (iii) aumentar resiliencia (asegurar continuidad operacional y recuperación rápida). . Estas se estructuran considerando variables de tamaño, localización, tecnología/diseño y aspectos operativos, coherentes con la Metodología General (MDSF, 2025a).

Algunos tipos de categorías de medidas (estructurales y de gestión), son:

- Medidas de localización y trazado - reducción de exposición
- Medidas de diseño y dimensionamiento – reducción de vulnerabilidad
- Medidas de protección y control - reducción de exposición/vulnerabilidad
- Medidas de redundancia y continuidad operacional – aumento de resiliencia
- Medidas de gestión del riesgo (Monitoreo, PAT, planes de contingencia) - aumento de resiliencia
- Medidas complementarias (SbN e infraestructura verde/azul) - aumento de resiliencia

En virtud de estas categorías se presentan medidas de resiliencia (Tablas 2-8, 2-9 y 2-10) con un enfoque práctico, vinculando cada alternativa con las principales amenazas climáticas y con los modos de falla que comprometen la continuidad del servicio.

El objetivo es facilitar una primera identificación de alternativas que, según el contexto territorial. Se incluyen tanto medidas de ingeniería (emplazamiento, fundaciones, obras de retención/encauzamiento, defensas costeras) como medidas habilitantes para operar y recuperar el servicio (accesos de inspección, monitoreo básico, umbrales de cierre/reapertura, modularidad y reparación por etapas). Estas alternativas no sustituyen el diseño definitivo, pero entregan un marco común y trazable para estructurar la discusión interministerial y preparar la comparación sin vs con proyecto con enfoque climático.⁶

⁶ Ver “II.4.1. Identificación y Análisis de las Alternativas de Solución”, que exige analizar alternativas viables y considerar factibilidad técnica, ambiental, legal, económica-financiera y administrativa (MDSF, 2025a).

Tabla 2-8. Puentes: medidas de resiliencia ante amenazas climáticas. Fuente: Elaboración propia.

Amenaza principal	Medidas de resiliencia (clasificadas)
Precipitaciones intensas, Inundaciones	• Medidas de localización y trazado: reubicar el eje del cruce para reducir interferencia hidráulica; ubicar estribos fuera de zonas de erosión lateral. • Medidas de diseño y dimensionamiento: ajustar la luz del puente para reducir interferencia hidráulica; profundización de fundaciones/pilotes (mayor empotramiento/profundidad). • Medidas de protección y control: obras de guía de flujo; estabilización de taludes/riberas; control de obstrucciones; protección de márgenes críticos que afecten la hidráulica del puente; protecciones de estribos; defensas de riberas donde corresponda. • Medidas de redundancia y continuidad operacional: desvío permanente o bypass temporal planificado para mantener conectividad en emergencia. • Medidas de gestión del riesgo: accesos para inspección post-evento; umbrales de cierre/reapertura; instrumentación básica (nivel/socavación).

Tabla 2-9. Control aluvional: medidas de resiliencia ante amenazas climáticas. Fuente: Elaboración propia.

Amenaza principal	Medidas de resiliencia (clasificadas)
Precipitaciones intensas	• Medidas de localización y trazado: derivación/redirección del flujo hacia zonas de menor daño (en la lógica de encauzamientos/canales de alivio). • Medidas de diseño y dimensionamiento: dimensionamiento del sistema para excedencias mediante “soluciones en serie”. • Medidas de protección y control: diques/trampas de sedimentos; dissipadores de energía; estructuras de retención para reducir picos; canales de alivio o encauzamientos; puntos de descarga controlados. • Medidas de redundancia y continuidad operacional: soluciones en serie (retención + disipación + conducción) evitando “punto único de falla”. • Medidas de gestión del riesgo: gatillos de alerta (lluvia/caudal); protocolos post-evento (inspección, despeje de obstrucciones); diseño de trampas con acceso para limpieza; zonas de acopio/disposición definidas. • Medidas complementarias (SbN): reforestación/manejo de suelos y control de erosión en microcuencas críticas (cuando sea pertinente y viable).
Remoción en masa	• Medidas de protección y control: obras de bioingeniería/estabilización; estabilización y manejo de laderas/riberas. • Medidas de redundancia y continuidad operacional: soluciones en serie para evitar punto único de falla ante excedencias. • Medidas de gestión del riesgo: protocolos post-evento; gatillos de alerta (lluvia/caudal). • Medidas Complementarias (SbN): reforestación; manejo de suelos; control de erosión en microcuencas críticas.

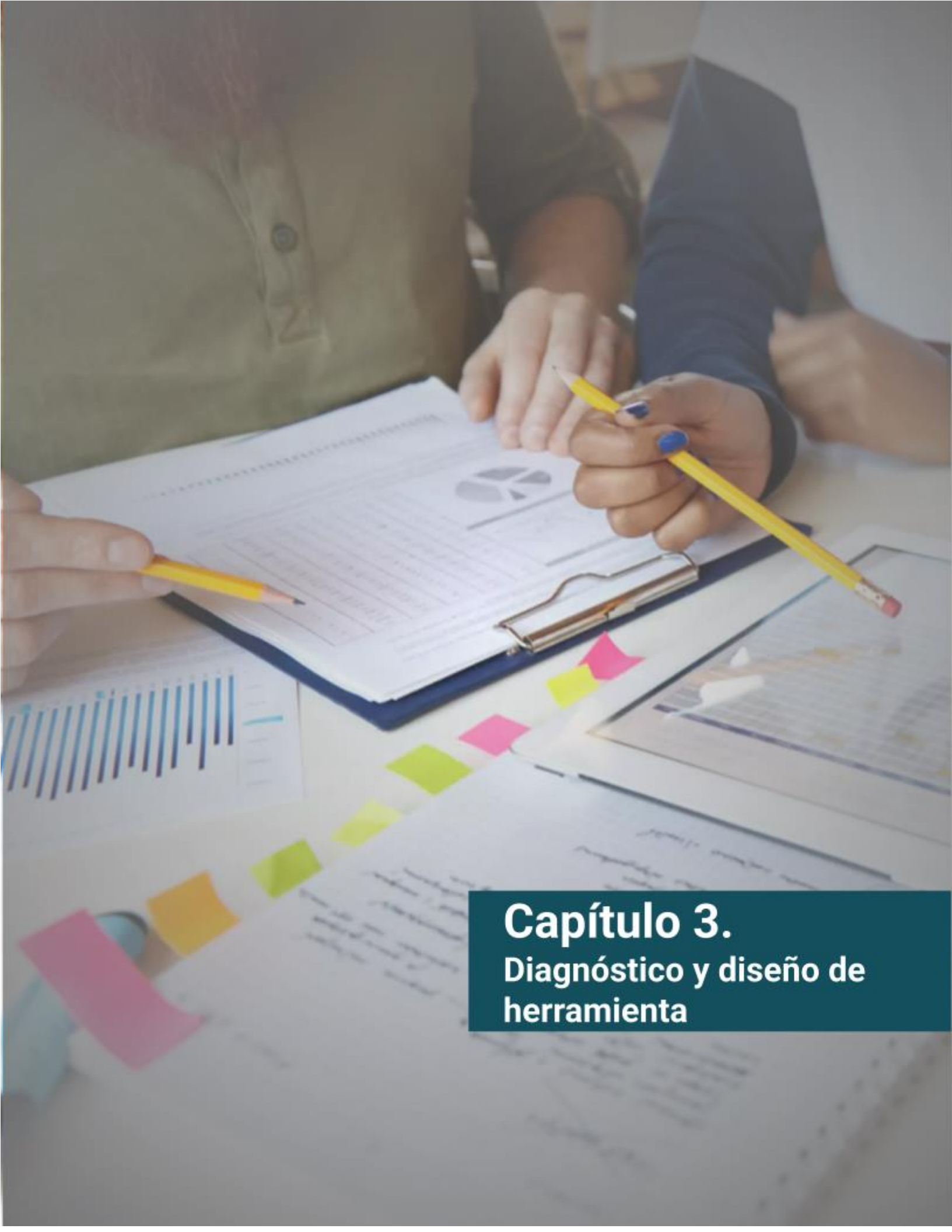
Tabla 2-10. Protección de borde costero: medidas de resiliencia ante amenazas climáticas.

Fuente: Elaboración propia.

Amenaza principal	Medidas de resiliencia (clasificadas)
Marejadas	• Medidas de localización y trazado: retroceso o relocalización de vialidad/equipamiento fuera de zonas inundables futuras; definición de franjas de resguardo (cuando sea viable). • Medidas de diseño y dimensionamiento: defensas con “estándar climático”; diseño escalable (posibilidad de elevar/reforzar en fases). • Medidas de protección y control: muros/espigones/rompeolas (según contexto) con protección de pie; control de sobrepaso; materiales aptos para ambiente marino. • Medidas de redundancia y continuidad operacional: modularidad por tramos con elementos reemplazables (facilita continuidad por reparación parcial). • Medidas de gestión del riesgo: umbrales para cierres preventivos; señalización; monitoreo de oleaje/marejadas; accesos/logística para reparaciones rápidas post-evento. • Medidas complementarias (SbN/verde-azul): restauración de dunas; humedales costeros; reforzamiento de playa (alimentación artificial) o soluciones híbridas para disipar energía.
Aumento del nivel del mar	• Medidas de localización y trazado: relocalización fuera de zonas inundables futuras; franjas de resguardo. • Medidas de diseño y dimensionamiento: diseño escalable para adaptarse a escenarios futuros (elevar/reforzar en fases). • Medidas de protección y control: (según contexto) defensas duras con estándar climático, control de sobrepaso y protección de pie. • Medidas de redundancia y continuidad operacional: modularidad/reparación por etapas (facilita adaptación progresiva). • Medidas de gestión del riesgo: umbrales de cierres preventivos; monitoreo; señalización; logística para ajustes y reparaciones post-evento. • Medidas complementarias (SbN): soluciones basadas en la naturaleza/híbridas (dunas, humedales, reforzamiento de playa) para apoyar adaptación.

2-4. Recomendaciones

- Esta Propuesta de Adecuación constituye una guía diseñada para orientar la integración del cambio climático en la formulación de iniciativas de inversión, poniendo en valor y optimizando la información técnica y las plataformas oficiales disponibles. Se recomienda priorizar la selección de insumos que destaquen por su alta resolución y trazabilidad, asegurando que los supuestos climáticos, tanto para condiciones actuales como futuras, se fundamenten en la mejor evidencia técnica disponible para cada territorio.
- Ante desafíos de mayor complejidad, exposición o criticidad del activo, la propuesta recomienda un enfoque de proporcionalidad. Esto permite robustecer la formulación mediante el desarrollo de estudios técnicos específicos, tales como, análisis hidrológicos o la realización de análisis de sensibilidad bajo diversos escenarios climáticos (SSP2-4.5 y SSP5-8.5), garantizando así la resiliencia de la infraestructura en el largo plazo.
- Para su implementación en el marco del SNI, se requiere que las iniciativas cuenten, o puedan acceder, a insumos mínimos tales como: cartografía digital, series climáticas e hidrológicas, visores oficiales, registros de eventos, y antecedentes territoriales relevantes, junto con sus metadatos (fuente/origen, fecha o período, cobertura, escala o resolución, método de elaboración, limitaciones y condiciones de uso). En particular, herramientas institucionales como el Atlas de Riesgo Climático (ARClím) y capas de la Infraestructura de Datos Geospaciales (IDE) Chile pueden apoyar el screening y la caracterización/diagnóstico inicial; sin embargo, su utilidad debe evaluarse caso a caso, considerando que pueden presentar información genérica, heterogeneidad de fuentes y/o brechas de estandarización (atributos, nomenclaturas, definición de campos y metadatos). La Propuesta enfatiza la necesidad de documentar y transparentar los supuestos, fuentes y limitaciones, de modo de asegurar consistencia, auditabilidad y comparabilidad entre iniciativas.



Capítulo 3.

Diagnóstico y diseño de herramienta

3. Diagnóstico y diseño de herramienta BSAC

3-1. Diagnóstico

El diagnóstico se refiere a la identificación de brechas y oportunidades de mejora del SNI con respecto a la integración del cambio climático en las tipologías de proyectos MOP en que se enmarca este estudio. Con este objetivo se procedió metodológicamente a desarrollar dos actividades. Por una parte, el levantamiento y análisis de información relevante al estudio, referido a las normas, metodologías y procedimientos. Por otra parte, al desarrollo de un análisis de actividades participativas, compuestas principalmente por entrevistas a grupos de actores claves (MOP y MDSF). Los hallazgos de ambas aproximaciones metodológicas se consolidan en el desarrollo de diagnóstico estructurado.

La información presentada corresponde a una síntesis analítica de las actividades realizadas. Esta síntesis ha sido desarrollada considerando la identificación de los insumos más relevantes que contribuyen a informar la formulación de la [Sección 3-3](#) Metodologías de evaluación social y herramienta - del presente capítulo. Mayor información con respecto al levantamiento de información y las actividades participativas se consolidan en el [Anexo 3-1](#) y [Anexo 3-2](#) respectivamente.

3-1.1. Levantamiento de información

El levantamiento de información sobre normas, metodologías y procedimientos vigentes permite comprender cómo se integran actualmente la adaptación al cambio climático y la mitigación de emisiones en los instrumentos oficiales, tanto a nivel transversal del SNI como en los requisitos sectoriales de este estudio (vial - puentes, hidráulico, protección costera).

El mapeo sistemático desarrollado proporciona una visión de la cobertura normativa, sus fortalezas y limitaciones, así como de las herramientas disponibles para valorar la resiliencia y la baja emisión en la evaluación socioeconómica de proyectos. De esta manera, se establecen las bases técnicas y regulatorias sobre las cuales identificar las brechas metodológicas, de parametrización y de aplicación que aún persisten en la práctica.

Elementos analíticos

Se distinguen tres elementos analíticos que estructuran el levantamiento de información. Estos se describen a continuación:

- Para el levantamiento de información se revisó un **total de 31 documentos** ([Anexo 3-1](#)). Estos fueron identificados como documentos relevantes para este estudio por parte del MOP y el MDSF. Cada uno de estos documentos se analizó con respecto a la integración del cambio climático (mitigación y adaptación, resiliencia o temas transversales). Esta revisión permitió establecer áreas de integración actual así como las brechas de información existentes y las oportunidades de mejora.

□ Para cada documento se desarrolló una **ficha de síntesis** que contiene mayor información sobre cada uno de los temas que abordan, así como su relevancia para el estudio e información clave (GeoAdaptive, 2025).

□ A partir de la comprensión de las fichas de síntesis se desarrollaron **resúmenes analíticos documentales**. Los cuales ofrecen una visión global de los documentos analizados y principales hallazgos en relación a la integración del cambio climático.

El siguiente diagrama presenta el flujo del proceso metodológico para la revisión bibliográfica con el objetivo de analizar la integración de la adaptación y mitigación al cambio climático en los documentos revisados, incluyendo los instrumentos transversales de SNI y sectores que competen a este estudio (Figura 3-1.1).



Figura 3-1.1. Diagrama de Flujo del Proceso Metodológico para la Revisión Bibliográfica. Fuente: Elaboración propia, 2025.

Hallazgos sobre la adaptación climática

La integración de la adaptación en el SNI ha avanzado mediante la incorporación de metodologías específicas y sectoriales, aunque aún persisten vacíos importantes. La Metodología Complementaria de Evaluación de Riesgo de Desastres (RRD) constituye un hito al establecer un Índice de Riesgo de Desastre (IRD) y umbrales para cuatro amenazas prioritizadas (tsunamis, erupciones volcánicas, remociones en masa e incendios forestales).⁷ Sin

⁷ Cabe destacar que se trata de una metodología complementaria, por lo tanto no es obligatoria en principio. Esto limita su aplicación.

embargo su cobertura resulta limitada, ya que no estandariza el análisis de inundaciones fluviales y pluviales ni marejadas, lo que restringe su aplicabilidad a escenarios hidrometeorológicos cada vez más relevantes en contexto de cambio climático. Esto plantea la necesidad de ampliar el alcance metodológico y de actualizarlo con proyecciones climáticas, fortaleciendo así la base de decisión para proyectos expuestos a riesgos múltiples.

Obras viales

En el sector vial, los manuales técnicos están incorporado la dimensión de riesgo y resiliencia en los capítulos recientes del Manual de Carreteras (MOP, 2025), lo que permite integrar variables climáticas en estudios de base y diseño. No obstante, aún falta una parametrización sistemática de costos derivados de interrupciones o desvíos operativos.

Obras hidráulicas

En los sectores hidráulico y de aguas lluvias, los RIS establecen la obligatoriedad de considerar variables climáticas en balances hídricos y periodos de retorno, pero con horizontes de evaluación (30 años) que pueden subestimar beneficios de obras resilientes de larga vida útil. En relación a la proyección de caudales, los RIS no consideran variables climáticas futuras. Además de una falta de información con respecto al uso de SbN o de la integración de soluciones mixtas frente al uso de infraestructura gris (aproximación tradicional).

Obras portuarias

En el caso portuario, se observa un avance concreto con el Anexo de Cambio Climático de la Dirección de Obras Portuarias (DOP), que obliga a considerar el escenario SSP5-8.5 en el diseño frente al aumento del nivel del mar. Aun así, este instrumento no aborda de manera sistemática otros factores como oleaje extremo o efectos compuestos (combinación de marejadas, aumento del nivel del mar y precipitaciones), lo que limita su capacidad de anticipar riesgos logísticos y de continuidad operativa.

En conjunto, los marcos existentes muestran avances relevantes, pero también la necesidad de robustecer parámetros, metodologías y horizontes para garantizar que las inversiones se adapten efectivamente a un contexto climático en transformación.

Hallazgos sobre la mitigación climática

La mitigación climática vinculada a obras de infraestructura se refiere a la reducción de emisiones mediante la integración de estrategias de eficiencia energética y/o el uso de energía desde fuentes renovables. En cuanto a mitigación, los documentos indican que el SNI contempla ciertos lineamientos pero con una cobertura parcial y desigual.

El uso del PSC, establecido en la Metodología General del SNI e instruido a través de informes anuales, constituye la principal herramienta para internalizar emisiones en la evaluación social. Sin embargo, su aplicación no es obligatoria en todos los sectores, lo que limita la capacidad de las evaluaciones para reflejar los costos sociales reales de las emisiones. Una oportunidad

clave es la obligatoriedad del PSC en ciertos proyectos y asegurar actualización periódica de sus valores, asegurando consistencia en la integración climática.⁸

En materia de eficiencia energética, se han desarrollado avances como el Software para edificios públicos (eficiencia energética - ECSE) y criterios en metodologías de agua caliente sanitaria. Pese a ello, la cobertura es limitada, ya que no existen estándares aplicables a infraestructura vial o portuaria. La ampliación de estas metodologías a tipologías diversas de infraestructura y la definición de metas sectoriales permitiría capturar beneficios energéticos y de carbono más allá del ámbito de las edificaciones. Asimismo, aunque la Metodología General permite incluir emisiones como externalidades y el Plan promueve inventarios de GEI, la falta de sistematización y obligatoriedad de inventarios por proyecto siguen siendo una brecha pendiente.

Finalmente, otros componentes de la mitigación como la economía circular y las energías renovables son reconocidos en documentos sectoriales (ej. Plan MOP⁹, RIS de empresas públicas), pero aún sin metodologías claras para cuantificar beneficios de reducciones de carbono. La gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) y el desarrollo de bancos de materiales, por ejemplo, carecen de valorización explícita de emisiones evitadas mediante el PSC. Esto limita la capacidad del SNI para consolidar un enfoque de infraestructura baja en carbono que complemente la adaptación climática.

Instrumentos transversales de integración

El análisis bibliográfico establece que los instrumentos transversales del SNI constituyen la columna vertebral de la integración climática, ya que establecen reglas aplicables a todos los proyectos de inversión pública. La Metodología General del SNI es la más robusta, al incluir la posibilidad de valorar externalidades climáticas tanto en adaptación (daños evitados, continuidad de servicios) como en mitigación (uso del PSC). Su principal fortaleza es la trazabilidad y coherencia en el análisis socioeconómico; no obstante, carece de parámetros climáticos actualizados y de metodologías específicas, que son las que habitualmente se aplican en la evaluación de obras de infraestructura del MOP, con homogeneidad en la valorización de externalidades de adaptación y mitigación.

Los Requisitos de Información Sectorial (RIS) aportan diferenciación técnica y obligatoriedad sectorial en hidráulica, vialidad, portuaria y empresas públicas, lo que constituye un avance relevante. Sin embargo, hay asimetrías en la integración de criterios climáticos.

La Metodología de Riesgo de Desastres también representa un instrumento valioso, al establecer umbrales claros y medidas costo-eficientes; aun así, su cobertura de amenazas es limitada y no se ajusta completamente a la necesidad de integración de escenarios climáticos futuros, además de no ser de carácter obligatorio.

⁸ En relación al valor del PSC, este se actualiza anualmente por el SNI.

⁹ Plan de Adaptación y Mitigación al Cambio Climático – Sector Infraestructura, 2025-2029.

El Instructivo de Proporcionalidad (MH; MDSF,2025) y el Plan¹⁰ complementan este marco con un enfoque diferenciado según la complejidad del proyecto y metas sectoriales específicas, respectivamente. Estos instrumentos son claves para fortalecer la integración climática en el ciclo de inversión, aunque requieren traducirse en parámetros y criterios estandarizados dentro del SNI.

En conjunto, los instrumentos transversales ofrecen una arquitectura normativa avanzada, pero aún en consolidación, que necesita de actualización técnica y armonización intersectorial para lograr una integración climática plena y consistente.

Conclusión

El análisis de la normativa y las metodologías existentes revela avances significativos en la incorporación del cambio climático en el ciclo de inversión pública. Se destaca la obligatoriedad de la Metodología General del SNI y la inclusión de ciertas externalidades climáticas en la evaluación social. No obstante, se han identificado limitaciones críticas, tales como la ausencia de parámetros específicos para la valoración de la resiliencia, la aplicación inconsistente del PSC entre diversos sectores, una cobertura incompleta de las amenazas hidrometeorológicas y una desarticulación entre la información especializada en cambio climático y medio ambiente y la evaluación de proyectos de infraestructura.

La conclusión fundamental del levantamiento de información y su análisis es que, si bien el marco actual proporciona una estructura sólida y diferenciada por sectores, requiere ajustes para asegurar que la toma de decisiones de inversión integre de manera sistemática y cuantificable los riesgos climáticos y las oportunidades de descarbonización. Por consiguiente, este levantamiento de información no solo permite identificar las brechas existentes, sino que también genera la oportunidad de proponer mejoras que fortalezcan la coherencia y efectividad del SNI frente a los desafíos impuestos por el cambio climático.

Tabla 3-1.1. Brechas y Oportunidades del Diagnóstico. Fuente: Elaboración propia, 2025.

BRECHAS PRINCIPALES	
Técnico - Normativo	
	• Ausencia de criterios climáticos vinculantes para la evaluación de infraestructura
	• Falta de metodologías estandarizadas con protocolos unificados
	• Información climática dispersa con respecto a datos climáticos y proyecciones
	• Marco normativo con lineamientos transversales climáticos limitados
	• Participación ciudadana limitada para levantar vulnerabilidades climáticas locales
Capacidades e institucionalidad	

¹⁰ Plan de Adaptación y Mitigación al Cambio Climático – Sector Infraestructura, 2025-2029.

- Capacidades limitadas para las evaluaciones técnicas climáticas
- Necesidad de fortalecer la articulación entre el SNI y los organismos especializados en cambio climático y medio ambiente.

Gestión y financiamiento

- Focalización de recursos financieros limitados para promover una infraestructura resiliente y baja en carbono
- Sistemas de monitoreo deficientes para medir desempeño climático de las inversiones públicas (evaluación ex post)
- Enfoque reactivo predominante, prevalencia de medidas correctivas sobre estrategias preventivas y de adaptación

OPORTUNIDADES DE MEJORA

Técnico - Normativo

- Fortalecimiento del marco normativo sectorial para integrar consideraciones climáticas
- Creación de herramientas técnicas para la evaluación climática de infraestructura
- Mejora de sistemas de información en plataformas integradas para apoyo a la toma de decisiones.
- Documentación, sistematización y difusión de buenas prácticas en infraestructura resiliente y baja en carbono.
- Enfoque territorial diferenciado según características climáticas y vulnerabilidades
- Participación multi-actor en la evaluación climática (sector privado, academia y sociedad civil)

Capacidades e institucionalidad

- Desarrollo de capacidades institucionales e interinstitucionales especializadas
- Coordinación interinstitucional para articulación con instituciones climáticas

Gestión y financiamiento

- Reforzar innovación en financiamiento verdes e incentivos climáticos
- Fortalecimiento del monitoreo con indicadores climáticos (resiliencia; emisiones) a lo largo del ciclo de vida de proyectos de inversión pública

3-1.2. Análisis participativo compuesto por entrevistas a actores claves

El objetivo del análisis participativo compuesto por entrevistas a actores claves del MOP y MDSF fue diagnosticar brechas y oportunidades para fortalecer el SNI en la evaluación de proyectos resilientes y bajos en carbono del MOP en fase de preinversión. Específicamente se indagó en la integración del cambio climático mediante la realización de un conjunto de preguntas destinadas a construir un diagnóstico actual e identificar brechas, en la evaluación social de la adaptación en preinversión, normas y procedimiento SNI en preinversión.

Se realizaron **4 sesiones**, con múltiples participantes por sesión (no menos de 10 personas). Tres sesiones agruparon a participantes las direcciones MOP (DOH, DV, DOP) y una sesión convocó a miembros de MDSF/DIRPLAN. Entre los asistentes se consideraron planificadores y formuladores de proyectos así como personas vinculadas a su evaluación mediante el desarrollo de instrumentos dentro del SNI.

Las conversaciones sostenidas contribuyeron a identificar instrumentos específicos vinculados a la integración del cambio climático, incluyendo anexos a TdR, modificaciones y adiciones recientes a los instrumentos metodológicos del SNI, estudios de riesgo/amenazas, modelos hidrológicos/geomorfológicos, estimaciones de daños evitados, supuestos de VAN/TIR/PSC, y análisis multicriterio, entre otros.

Las sesiones tuvieron una longitud aproximada de dos horas por cada una de ellas y se estructuraron en tres módulos con preguntas guía asociadas. Las preguntas guía utilizadas fueron adaptadas por sector manteniendo la misma estructura temática por módulo (Tabla 3-1.2).

Tabla 3-1.2. Síntesis de Estructura de Entrevistas Grupales por Módulos. Fuente: Elaboración propia, 2025.

Módulo	Variables asociadas
Módulo I: Diagnóstico actual y brechas	Criterios y umbrales de priorización (riesgo, exposición, costo-efectividad)
	Información de peligro y riesgo utilizada/vacío de datos
	Lineamientos de diseño por cambio climático
	Limitaciones en la formulación y evaluación de SbN
	Brechas para utilizar otras soluciones
	Integración de aprendizajes de eventos (aluviones, remociones en masa) en el ciclo de inversión
Módulo II: Evaluación social y	Información utilizada en la modelación/utilización de datos climáticos

procedimientos del SNI	Métodos para estimar y valorizar daños directos/indirectos/beneficios por pérdidas evitadas
	Métodos de comparación entre distintas alternativas
	Distribución de beneficios en zonas vulnerables
	Limitaciones al desarrollo de proyectos multipropósitos
	Normas y guías por etapa (perfil, prefactibilidad, factibilidad)
	Métodos de cálculo de la rentabilidad social
	Conocimiento y proceso de aplicación del PSC
Módulo III: Conclusiones	Propuestas de cambio del SNI
	Principales brechas y oportunidades

Síntesis entrevista grupal DOH

Se constató que el portafolio de obras de protección aluvional responde históricamente a emergencias, con alta asignación a conservación y obras reactivas, y que persisten vacíos para diseñar con escenarios de cambio climático (línea de nieve variable, caudales futuros) por falta de capacidades técnicas y metodologías. La metodología sectorial específica para la evaluación de las obras hidráulicas no considera beneficios indirectos ni intangibles, como vidas salvadas, seguridad, continuidad de servicios, lo que dificulta la rentabilidad social de proyectos, en especial de SbN, que además enfrentan barreras de confianza, regulación y oferta de proveedores.

- Se destacan desafíos para proyectos multipropósito por la sectorización y financiamiento, y la necesidad de priorización ex ante (Plan de quebradas), caracterización de beneficiarios y áreas de influencia, y metodologías piloto para SbN.
- Como oportunidades, el taller relevó la LMCC y ajustes presupuestarios/instructivos para financiar resiliencia, junto con un cambio de paradigma de diseño: no necesariamente obras más caras, sino distintas, con mejor valoración de beneficios y criterios simples de priorización.

Síntesis entrevista grupal DOP

Se enfatizó la participación activa de los asistentes para identificar brechas y oportunidades en la evaluación de proyectos, destacando la relevancia del aumento del nivel del mar y marejadas en el diseño de obras portuarias. Se discutió la necesidad de un enfoque proactivo en los proyectos de protección costera, con ejemplos como el caso de la Avenida Perú en Viña del Mar. La falta de datos y estándares en la información de peligros y riesgos fue un tema recurrente, con varios participantes señalando que la escasez de datos de campo ha obstaculizado el desarrollo de proyectos de monitoreo y diseño. Además, se plantearon dudas

sobre la capacidad del sistema para considerar iniciativas a largo plazo y la complejidad de evaluar las inversiones de soluciones basados en la naturaleza.

- El debate incluyó la diferencia entre proyectos y programas en el contexto de obras portuarias, sugiriendo que algunos enfoques deberían considerarse como programas.
- Se destacó la necesidad de evaluar los beneficios indirectos de los proyectos, como el impacto en el empleo y el turismo, y se mencionaron las limitaciones de las metodologías actuales para cuantificar estos beneficios en áreas vulnerables.

Síntesis entrevista grupal DV-Puentes

La discusión se centró en la evaluación de la infraestructura de puentes, donde se destacó la necesidad de modelaciones para valorar el costo de interrupciones y la importancia de considerar tanto la construcción de nuevos puentes como la reposición de los existentes. Se mencionaron barreras de valoración de beneficios, como la redundancia de la red vial, que complican la implementación de proyectos para la resiliencia climática, así como la necesidad de realizar un análisis de costos que compare proyectos con y sin consideraciones climáticas.

- Se destaca la herramienta de evaluación territorial vial para priorización de proyectos en la cartera de preinversión, que permite identificar segmentos de la red vial crítica en base a indicadores que identifican tramos que requieren medidas para aumentar la resiliencia.
- A pesar de los avances en estas metodologías, se identificó la necesidad de la importancia de actualizar las metodologías de evaluación para reflejar mejor los riesgos y beneficios asociados a la infraestructura resiliente.

Síntesis entrevista MDSF/ DIRPLAN

Se discutió la necesidad de definir estándares de datos para evaluar amenazas climáticas y la interoperabilidad de la información. Se subrayó la importancia de considerar el aumento del nivel del mar en proyectos costeros, mientras que se destacó la necesidad de metodologías que reconozcan tanto el daño evitado como los beneficios intangibles. Además, se mencionó la importancia de valorar proyectos que contribuyan al ecosistema, señalando los desafíos en la evaluación de SbN.

- Se abordó la necesidad de utilizar metodologías generales para proyectos sin una metodología específica, con la propuesta de que los sectores especializados puedan proponer parámetros de valoración.
- Se identificaron oportunidades para fortalecer los incentivos destinados a proyectos innovadores, mientras que se instó a los servicios a ser más proactivos en propuestas para la modificación de metodologías.

3-1.3 Diagnóstico estructurado

A partir de la síntesis de talleres participativos y levantamiento de información, se presenta un diagnóstico orientado con las principales brechas y oportunidades técnicas identificadas, las cuales pueden ser solventadas en el corto y mediano plazo. Además, se sugiere avanzar en la capacitación y conocimientos del equipo técnico. Finalmente, se señala un conjunto de indicadores para monitorear avances financieros, técnicos, de desempeño, e institucionales.

Principales brechas identificadas

1. Valoración económica limitada de beneficios resilientes

La metodología actual presenta dificultades para capturar beneficios intangibles y de largo plazo. El enfoque costo-beneficio tradicional tiende a subestimar:	• Daños evitados y continuidad operativa • Ahorros por reposición diferida en infraestructura resiliente • Beneficios indirectos de SbN • Costos del ciclo de vida completo de las obras (incluyendo el término de su vida útil)
Implicancia financiera:	En zonas aisladas y con menor población, las intervenciones resilientes resultan "no rentables" bajo criterios tradicionales, dificultando su aprobación y financiamiento.

2. Enfoque reactivo predominante de la gestión de riesgos

La priorización y ejecución de proyectos de adaptación realizados principalmente en respuesta a emergencias, utilizando instrumentos de excepción para su financiamiento.	• Activación recurrente de fondos de emergencia y decretos de excepción para financiar obras de mitigación • Obras que no superan evaluación costo-beneficio en escenarios normales terminan ejecutándose bajo presión de urgencia • Recursos destinados a reposición repetida en lugar de diseños resilientes de mayor vida útil
Implicancia financiera:	Mayor costo fiscal esperado, volatilidad presupuestaria y pérdida de oportunidades de inversión preventiva más eficiente

3. Instrumentos metodológicos fragmentados

Existen metodologías disponibles para la integración climática; sin embargo, estas no se encuentran integradas entre sí y presentan una complejidad de aplicación que limita su uso efectivo.	• Desarrollo asimétrico entre aproximaciones metodológicas para sectores (vial, hidráulico, portuario) • Cobertura incompleta de amenazas climáticas (faltan estándares para inundaciones fluviales/pluviales, marejadas, subsidencia) • Horizontes típicos de 30 años que subestiman beneficios de obras longevas
---	--

Implicancia financiera:	Se presentan desafíos significativos en la formulación de proyectos con viabilidad financiera y en la obtención de cofinanciamiento climático de organismos multilaterales
-------------------------	--

4. Ausencia de parámetros y valores de referencia

Faltan tablas y valores estandarizados para:	• Costos de interrupciones y desvíos • Continuidad del servicio • Pérdidas evitadas • Factores de emisión de ciclo de vida
Implicancia financiera:	Cada proyecto debe desarrollar sus propias estimaciones, encareciendo la preparación y generando inconsistencias en la evaluación.

5. Incertidumbre y riesgo climático no incorporados

El sistema actual es limitado para abordar la incertidumbre asociada al cambio climático.	• Predomina un VAN único y determinista que no permite análisis de robustez ni escenarios múltiples. • Ausencia de análisis de sensibilidad ante distintos escenarios de cambio climático (SSP2-4.5, SSP5-8.5) • Parámetros de diseño (caudales de diseño, oleaje, precipitaciones extremas) calculados con datos del pasado
Implicancia financiera:	Subvaloración sistemática de los beneficios asociados a inversiones resilientes y riesgo de obsolescencia prematura de infraestructura.

6. Vulnerabilidad territorial sin peso en la priorización

Existen instrumentos de priorización territorial que deben ser integrados a la evaluación.	• La vulnerabilidad de la población y la criticidad logística del territorio tienen escasa o nula consideración en los criterios de jerarquización, que se basan casi exclusivamente en la rentabilidad financiera.
Implicancia financiera:	Desatención de zonas de alta vulnerabilidad social y ambiental, perpetuando inequidades territoriales.

7. SbN sin marco de evaluación

Fomentar la progresiva integración de SbN o mixtas mediante el conocimiento de sus costos y beneficios.	• Beneficios hidrológicos y de control de sedimentos • Absorción de carbono • Co-beneficios ecosistémicos • Costos de O&M y desempeño temporal
---	---

Implicancia financiera:	Las SbN quedan fuera de la cartera de proyectos por falta de comparabilidad económica.
-------------------------	--

8. Uso del PSC no estandarizado

Estandarizar el uso del PSC y complementar con otras aproximaciones que contribuyan a una infraestructura baja en carbono	- Al no estar incorporados en las metodologías específicas, y sólo en la metodología general, que sirve como guía, no existe una sistematización de su aplicación por parte de los sectores, ni tampoco existe obligatoriedad de ello. - No existen inventarios GEI obligatorios a nivel de proyecto - Complementar con otras herramientas que permitan avanzar a una infraestructura baja en carbono (análisis del ciclo de vida en megaproyectos).
---	--

Implicancia financiera:	Pérdida de oportunidades de acceso a fondos verdes y financiamiento climático internacional.
--------------------------------	--

9. Integración operativa incompleta

Los avances metodológicos (Metodología General, RIS, Instructivos) no se traducen sistemáticamente en:	- Términos de referencia (TDR) - Planillas de evaluación - Checklists operativos - Criterios de admisibilidad y priorización
--	---

Implicancia financiera:	Incertidumbre para programación plurianual y dificultad para demostrar cumplimiento a cofinanciadores.
--------------------------------	--

10. Brechas de datos e interoperabilidad

Existe información climática en diversas fuentes, pero sin aplicación sistematizada en la evaluación.	- Series y curvas IDF actualizadas - Proyecciones climáticas regionalizadas - Mapas de riesgo territoriales - Repositorios de factores de emisión y casos tipo
---	---

Implicancia financiera:	Mayor tiempo y costo de preparación de proyectos; menor calidad técnica de perfiles.
--------------------------------	--

Principales oportunidades identificadas

1. Desarrollo progresivo de parámetros económicos de resiliencia

Fase inicial	Elaborar tablas de referencia simples para costos de interrupción,
---------------------	--

	desvíos y daños evitados en carreteras y puentes ● Desarrollar ejemplos de flujos de caja que incluyan ahorros por reposición diferida ● Crear plantillas simples para análisis de beneficios de continuidad operativa
Escalamiento	● Incorporar gradualmente análisis multiescenario en proyectos de corredores críticos ● Permitir horizontes de evaluación extendidos para obras de vida útil larga ● Pilotear análisis de opciones reales en proyectos seleccionados
Resultado esperado	Justificación técnica más robusta de inversiones resilientes sin transformar radicalmente los procedimientos actuales.

2. Flexibilización adaptativa de criterios de evaluación

Fase inicial	● Explorar la posibilidad de complementar el VAN único con análisis de robustez y sensibilidad climática ● Documentar casos donde el análisis costo-eficiencia puede ser más apropiado que costo-beneficio ● Desarrollar guías para incorporar información cualitativa relevante en la toma de decisiones
Escalamiento	● Establecer criterios diferenciados por tipología de proyecto y contexto territorial ● Incorporar ponderadores suaves para continuidad logística y vulnerabilidad social
Resultado esperado	Mayor flexibilidad en la evaluación sin perder rigurosidad técnica.

3. Etiquetado y seguimiento del gasto en resiliencia

Fase inicial	● Aplicación de etiquetado presupuestario "clima/resiliencia" en una porción del CAPEX del MOP / Taxonomía T-MAS; Descriptores de cambio climático (DIPRES) ● Desarrollo de tablero básico de seguimiento con métricas de continuidad y tiempos de restablecimiento
Escalamiento	● Ampliación gradual del etiquetado a todo el portafolio ● Vinculación con sistemas de MRV (Medición, Reporte y Verificación) ● Generación de evidencia para priorización informada
Resultado esperado	Mayor visibilidad del impacto de inversiones resilientes y mejor trazabilidad para co-financiadores.

4. Integración práctica en instrumentos operativos del SNI

Fase inicial	● Actualizar TDR tipo con un "módulo breve de resiliencia y GEI" (checklist y 2-3 parámetros clave) ● Desarrollar planillas de evaluación amigables que incorporen consideraciones climáticas básicas ● Crear anexos estandarizados con modelación climática
Escalamiento	● Ajustar criterios de admisibilidad y priorización basándose en aprendizajes ● Incorporar cláusulas contractuales con KPIs de continuidad y emisiones ● Alinear RIS sectoriales (vial, hidráulico, portuario) con criterios climáticos comunes
Resultado esperado	Menos fricción en la preparación de proyectos y mayor coherencia intersectorial y territorial.

5. Desarrollo de guías prácticas para SbN

Fase inicial	● Desarrollar guía compacta para comparar SbN/híbridas con soluciones grises ● Incluir casos tipo con cuantificación de beneficios hidrológicos, de carbono y co-beneficios ● Definir expectativas realistas de O&M y desempeño temporal
Escalamiento	● Pilotos en 2-3 cuencas o tramos con contratos que expliciten niveles de servicio (por ej. Cuenca Río Bueno) ● Documentación de lecciones aprendidas y ajuste de parámetros ● Ampliación gradual a más territorios
Resultado esperado	SbN como opción visible y comparable, facilitando su financiamiento cuando aporten valor.

6. Incorporación gradual del PSC

Fase inicial	● Establecer condiciones para la aplicabilidad del PSC y actualizar anualmente el valor de referencia ● Desarrollar plantillas simples para inventarios GEI durante construcción y operación ● Aplicar en proyectos piloto de gran envergadura
Escalamiento	● Ampliar progresivamente a más tipologías de proyecto ● Integrar MRV post-obra en muestra representativa ● Documentar beneficios para acceso a financiamiento climático
Resultado esperado	Evidencia cuantitativa que facilite acceso a fondos verdes internacionales.

7. Gobernanza de datos y repositorios compartidos

Fase inicial	● Crear repositorio compartido con curvas IDF disponibles, factores de emisión básicos y anexos de modelación tipo ● Establecer convenios de intercambio con instituciones especializadas e identificar parámetros a utilizar (DGA, SHOA, SENAPRED, ARCLIM)
Escalamiento	● Desarrollar interoperabilidad con plataformas sectoriales ● Estandarizar protocolos de modelación (insumos, calibración, sensibilidad) ● Crear biblioteca de casos tipo y buenas prácticas
Resultado esperado	Reducción de costos y tiempos de preparación; mayor calidad técnica de perfiles.

8. Incorporación de vulnerabilidad territorial en la priorización

Fase inicial	● Desarrollar mapas de vulnerabilidad social y ambiental a nivel territorial ● Pilotear incorporación de criterios de vulnerabilidad en jerarquización de proyectos seleccionados ● Combinar calificación estructural (p.ej., puentes) con exposición local de tramos y resiliencia de la red (p.ej., análisis de redundancia)
Escalamiento	● Ajustar ponderadores basándose en evidencia ● Ampliar a todo el portafolio de forma gradual ● Vincular con criterios de continuidad logística
Resultado esperado	Mayor equidad territorial y mejor focalización de inversiones resilientes.

9. Esquemas innovadores de contratación y mantenimiento

Fase inicial	● Aplicación de contratos diseño-construcción-mantenimiento (D+E+M) con indicadores simples de continuidad (p.ej., concesiones, vialidad) ● Definir niveles de servicio básicos (p.ej., horas de interrupción máximas por evento) ● Explorar esquemas de pagos por desempeño
Escalamiento	● Incorporar gradualmente mantenimiento por niveles de servicio en corredores estratégicos ● Desarrollar incentivos para materiales de bajo carbono y economía circular ● Documentar ahorros de ciclo de vida
Resultado esperado	Menor costo total esperado y mejor desempeño ante eventos climáticos.

10. Formación continua e intercambio de conocimientos

Fase inicial	- Programas de formación breve en evaluación de beneficios resilientes para equipos técnicos - Comités técnicos conjuntos MOP-DIPRES-MDSF para revisión expedita de proyectos climáticos - Intercambio de experiencias con otros países de la región
Escalamiento	- Formación especializada en análisis multiescenario, opciones reales y MRV - Certificación de evaluadores en resiliencia climática - Red de comunidades de práctica intersectoriales
Resultado esperado	Mayor autonomía técnica y mejor calidad de evaluaciones.

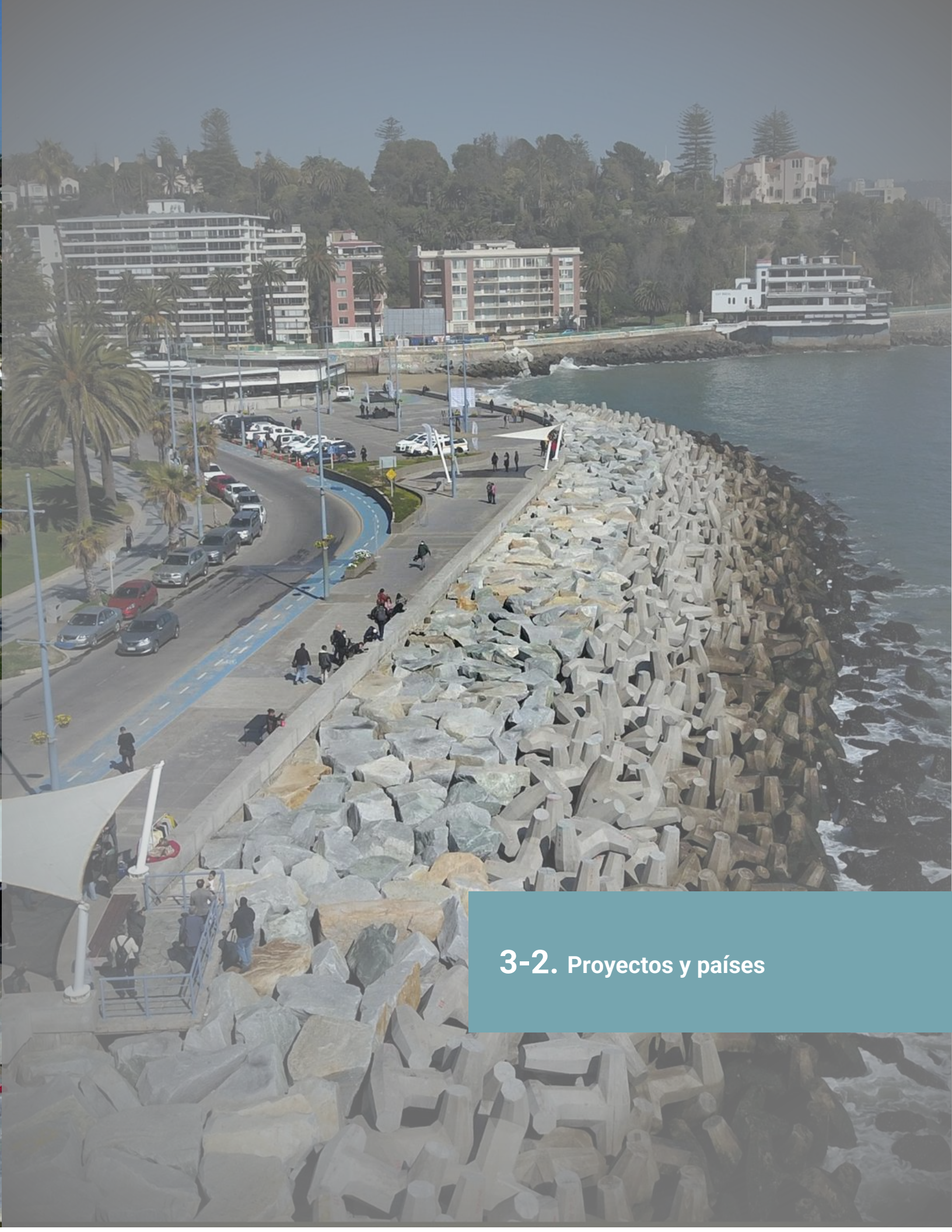
Indicadores de avance sugeridos

Financieros	Técnicos	Desempeño	Institucionales
% del CAPEX del MOP con etiqueta "clima/resiliencia" - Monto de cofinanciamiento climático movilizado (BM, BID, CAF, GCF) - Costo promedio de preparación de proyectos resilientes vs. tradicionales	- N° de proyectos que incorporan tablas de referencia de interrupción/daños evitados - Proyectos con análisis multiescenario o de robustez - Proyectos con PSC aplicado e inventarios GEI	- Reducción del tiempo de interrupción promedio en corredores piloto - Cumplimiento de niveles de servicio en contratos D+E+M - Participación de SbN/híbridas en la cartera aprobada	- Funcionarios capacitados en evaluación de resiliencia - Tiempo promedio de aprobación de proyectos con componente climático - Satisfacción de equipos técnicos con herramientas disponibles
% de inversión preventiva vs. inversión reactiva (decretos de emergencia)	- N° de proyectos que utilizan datos del repositorio compartido de información climática. - N° de RIS sectoriales actualizados con criterios climáticos armonizados	N° de proyectos con MRV post-obra en ejecución	- N° de convenios de intercambio de información activos con instituciones climáticas (DGA, SHOA, SENAPRED, ARCLIM) - N° de proyectos con procesos participativos para identificación de vulnerabilidades

Matriz de síntesis de principales brechas y oportunidades detectadas

La siguiente tabla presenta una síntesis de las principales brechas y oportunidades técnicas detectadas mediante el desarrollo del diagnóstico.

Brechas técnicas	Oportunidades técnicas y capacidades
1. Valoración económica limitada de beneficios resilientes: capturar beneficios intangibles y de largo plazo	1. Desarrollo progresivo de parámetros económicos de resiliencia: integrar valores de referencia simples
2. Enfoque reactivo predominante de la gestión de riesgos: priorización y ejecución de proyectos de mitigación realizados principalmente en respuesta a emergencias, utilizando instrumentos de excepción.	2. Flexibilización adaptativa de criterios de evaluación: complementar el VAN único con sensibilidad climática y documentar casos en que el costo-eficiencia puede ser más apropiado que costo-beneficio
3. Instrumentos metodológicos fragmentados: Desarrollo asimétrico entre aproximaciones metodológicas para sectores	3. Etiquetado y seguimiento del gasto en resiliencia: aplicación de etiquetado presupuestario "clima/resiliencia"
4. Ausencia de parámetros y valores de referencia: valorización de costos de interrupciones y desvíos, continuidad del servicio, pérdidas evitadas, factores de emisión de ciclo de vida.	4. Integración práctica en instrumentos operativos del SNI: integración de resiliencia y GEI al desarrollar planillas de evaluación amigables que incorporen consideraciones climáticas básicas.
5. Incertidumbre y riesgo climático no incorporados: considerar distintos escenarios de cambio climático	5. Desarrollo de guías prácticas para SbN: cuantificación de co-beneficios y documentación de casos.
6. Vulnerabilidad territorial sin peso en la priorización: integración de instrumentos de priorización territorial en la evaluación.	6. Incorporación gradual del PSC: condiciones para la aplicabilidad del PSC e inventarios de GEI.
7. SbN sin marco de evaluación: conocimiento de sus costos y beneficios	7. Gobernanza de datos y repositorios compartidos: repositorio compartido
8. Uso del PSC no estandarizado: sistematización de su aplicación por parte de los sectores	8. Incorporación de vulnerabilidad territorial en la priorización: jerarquización con criterios de vulnerabilidad.
9. Integración operativa incompleta: traducir avances metodológicos a instrumentos operativos	9. Esquemas innovadores de contratación y mantenimiento: materiales de bajo carbono y economía circular
10. Brechas de datos e interoperabilidad: aplicación sistematizada en la evaluación	10. Formación continua e intercambio de conocimientos: en resiliencia climática



3-2. Proyectos y países

3-2. Proyectos y países

3-2.1. Experiencia comparada con otros países

Se presenta una revisión de experiencia comparada a nivel mundial, con el objeto de informar la propuesta de adecuaciones que permitan la valorización social de los beneficios de la infraestructura resiliente, según escenarios previstos de cambio climático. Se postula que los países con mayor desarrollo económico y sistemas de gobernanza más consolidados han incorporado metodologías más sofisticadas que integran de manera efectiva variables no monetarias, externalidades ambientales y beneficios intergeneracionales, mientras que en Latinoamérica predominan enfoques más tradicionales centrados en indicadores económicos directos y de corto plazo. Adicionalmente, se considera que las metodologías actuales no incorporan adecuadamente los escenarios climáticos futuros ni la incertidumbre asociada a estos, lo que resulta en una subvaloración sistemática de los beneficios de la infraestructura resiliente, especialmente en contextos de alta vulnerabilidad climática como el chileno. La hipótesis sostiene que estas diferencias metodológicas influyen decisivamente en la priorización y diseño de proyectos, generando resultados divergentes en términos de sostenibilidad e impacto social.

Cinco países fueron seleccionados para la revisión, de acuerdo con las recomendaciones de representantes del MDSF. En orden de prioridad: Países Bajos, Reino Unido, Estados Unidos, Australia, y Canadá. Este conjunto de países se considera en el análisis de experiencia comparada. Metodológicamente se desarrolló una revisión bibliográfica de documentos vinculados a las metodologías de evaluación utilizadas para la valorización de los beneficios de la infraestructura resiliente en los países seleccionados. La revisión se estructuró mediante la comprensión general de las metodologías de evaluación utilizadas, a fin de identificar las posibles adecuaciones que serán recomendadas para el caso chileno. Se focalizó la atención en identificar los indicadores utilizados que permitan medir la adaptación y mitigación al cambio climático de los proyectos a evaluar (Figura 3-2.1).

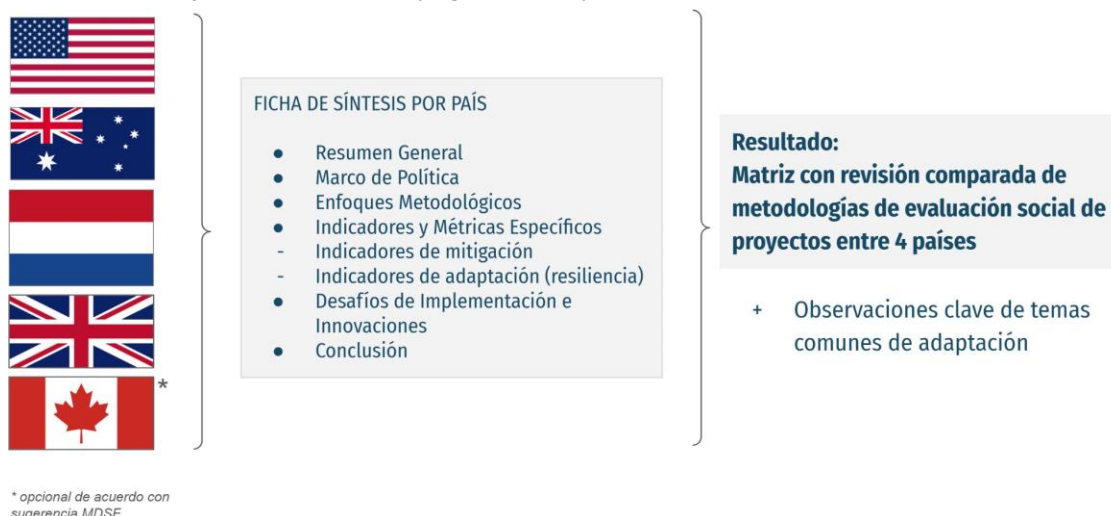


Figura 3-2.1. Países Seleccionados, Fichas de Síntesis, y Resultado. Fuente: Elaboración propia, 2025.

3-2.2. Países seleccionados y la integración del cambio climático en las evaluaciones de proyectos de inversión pública

Se señala una breve descripción de cada uno de los países seleccionados para el análisis comparativo sobre la integración del Cambio Climático en las Evaluaciones de Proyectos de Inversión Pública. Para cada uno de estos países se desarrolló una ficha de síntesis, que contiene mayor información sobre los marcos de política, enfoques metodológicos, indicadores y métricas específicas, desafíos de implementación e innovaciones, consolidadas en los anexos de este documento ([Anexo 3-4](#)).

Países Bajos [FICHA]



Los **Países Bajos** han desarrollado uno de los marcos más comprensivos del mundo para integrar el cambio climático en evaluaciones de inversión pública, impulsado por su vulnerabilidad única al aumento del nivel del mar y eventos meteorológicos extremos. El enfoque holandés incorpora sistemáticamente consideraciones climáticas en la planificación de infraestructura a través del Programa Delta Works y estrategias nacionales de adaptación climática, reflejando el compromiso del país de alcanzar neutralidad climática para 2050 mientras mantiene resiliencia contra el aumento del nivel del mar (Ministry of Infrastructure and Water Management, 2020).

Reino Unido [FICHA]



Reino Unido ha desarrollado un marco sofisticado para integrar consideraciones de cambio climático en evaluaciones de inversión pública, impulsado por el compromiso del Reino Unido de alcanzar emisiones netas cero para 2050 y los requisitos legales de la Ley de Cambio Climático 2008. El enfoque inglés incorpora sistemáticamente medidas de mitigación y adaptación climática en la planificación de infraestructura a través de marcos de política comprensivos que enfatizan tanto la reducción de carbono como la resiliencia climática (HM Treasury, 2022).

Estados Unidos [FICHA]



Estados Unidos ha desarrollado un enfoque comprensivo para integrar consideraciones de cambio climático en evaluaciones de inversión pública, impulsado por Órdenes Ejecutivas sobre resiliencia climática y el compromiso de la Administración Biden de alcanzar emisiones netas cero para 2050. El marco estadounidense enfatiza tanto mitigación como adaptación climática a

través de inversiones federales en infraestructura, con coordinación significativa entre agencias federales e iniciativas a nivel estatal (White House, 2021). Esta integración ocurre a través de múltiples instrumentos de política incluyendo la Ley de Inversión en Infraestructura y Empleos y varias directrices de agencias federales.

Australia [FICHA]



Australia ha desarrollado un marco comprensivo para integrar consideraciones de cambio climático en evaluaciones de inversión pública, reflejando la alta vulnerabilidad del país a eventos meteorológicos extremos y el compromiso de alcanzar emisiones netas cero para 2050. El enfoque australiano enfatiza resiliencia climática y adaptación dada la exposición del continente a incendios forestales, inundaciones, ciclones y calor extremo, mientras incorpora medidas de mitigación alineadas con objetivos climáticos nacionales y estatales (Department of Climate Change, Energy, the Environment and Water, 2022).

Canadá [FICHA]



Canadá ha integrado cada vez más las consideraciones del cambio climático en las evaluaciones de proyectos de inversión pública como parte de su compromiso de alcanzar emisiones netas cero para 2050 y adaptarse a los impactos climáticos (Gobierno de Canadá, 2021). Esta integración ocurre a través de marcos federales y provinciales que incorporan medidas de resiliencia climática y mitigación en la planificación de infraestructura y decisiones de inversión (Infrastructure Canada, 2022).

Observaciones clave

El análisis comparativo entre los países seleccionados contribuye a identificar indicadores comunes para valorizar el cambio climático en las evaluaciones de los proyectos de inversión pública, ofreciendo aproximaciones comunes como las mencionadas a continuación.

ADAPTACIÓN	
Temas comunes	Unidades de medidas
Evaluación basada en riesgo: Todos los países emplean índices de riesgo compuestos	Escalas de riesgo: Mayoría usa escalas numéricas (0-100, 1-10, A-E)

- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ● Actualizaciones de estándares de diseño: Integración de proyecciones climáticas en estándares de ingeniería ● Continuidad de servicio: Enfoque en confiabilidad operacional bajo estrés climático ● Planificación de recuperación: Énfasis en tiempo de restauración después de eventos climáticos | <ul style="list-style-type: none"> ● Tiempo: Horas/días para recuperación, años para períodos de retorno ● Porcentajes: Para disponibilidad de servicio y incrementos de diseño ● Factores multiplicadores: Para ajustes de estándares de ingeniería |
|---|--|

MITIGACIÓN	
Temas comunes	Unidades de medidas
● Métricas de intensidad de carbono: Emisiones estandarizadas por unidad funcional; Precio social de carbono ● Evaluación de ciclo de vida: Contabilidad comprensiva de carbono desde construcción hasta operación ● Integración de energía renovable: Objetivos para energía limpia en proyectos de infraestructura ● Análisis de período de recuperación: Evaluación basada en tiempo de beneficios de reducción de emisiones	● Intensidad de carbono: Todas usan tCO₂eq como unidad base ● Normalización: Por unidad funcional, millón de moneda local, o km ● Tiempo: Años para períodos de recuperación de carbono ● Porcentajes: Para eficiencia energética e integración renovable

Variaciones Regionales

Complementariamente estas aproximaciones comunes, también es posible distinguir variaciones regionales, las cuales denotan el contexto específico de cada país. Esto es especialmente relevante en el caso de las amenazas climáticas y la exposición que afecta a los distintos tipos de infraestructura.

- Países propensos a inundaciones (Países Bajos, Inglaterra): Estándares mejorados de protección contra inundaciones
- Regiones de clima extremo (Australia, Canadá): Enfoque en resiliencia a temperatura y clima
- Sistemas federales (Canadá, Australia, EE.UU.): Marcos de coordinación multinivel
- Influencia de la UE (Países Bajos): Alineación con taxonomía de la UE y estándares de economía circular

3-2.3. Aproximación Sectorial

Basado en el análisis comprensivo de marcos de integración climática en cinco países líderes, en esta sección se desarrolla una síntesis identificando las medidas comunes para la integración de la mitigación y adaptación al cambio climático en las evaluaciones de infraestructura según las tipologías consideradas en este estudio. Se incluye infraestructura vial, específicamente puentes, control aluvional y de manejo de cauces, e infraestructura de protección del borde costero. Mayor información con respecto a la integración del cambio climático por tipología de proyecto y país se ofrece en los anexos del estudio ([Anexo 3-4](#)).

PUENTES [Información complementaria]

Tabla 3-2.1: Infraestructura de Puentes - Medidas Comunes. Fuente: Elaboración propia, 2025.

Aspecto	Adaptación	Mitigación
Marcos de Evaluación	• Evaluación de riesgo climático basada en índices compuestos • Análisis multi-escenario climático (2-4 escenarios) • Horizontes de planificación extendidos (50-100+ años)	• Evaluación de carbono de ciclo de vida completo • Análisis de período de recuperación de carbono • Integración de PSC
Estándares de Diseño	• Incrementos del 10-20% en cargas de clima extremo • Ajustes por temperatura extrema y precipitación • Factores de seguridad climática en ingeniería	• Objetivos de intensidad de carbono incorporado • Uso de materiales bajos en carbono (incluyendo fabricación y transporte) • Metas de período de recuperación (10-15 años)
Métricas de Rendimiento	• Índices de continuidad de servicio (% tiempo operacional) • Objetivos de tiempo de recuperación (24-72 horas) • Calificaciones de resiliencia operacional	• Intensidad de emisiones GEI por unidad funcional • Integración de energía renovable (%) • Potencial de cambio modal en transporte
Gestión Adaptativa	• Flexibilidad de diseño para condiciones climáticas evolutivas • Capacidad de modificación de infraestructura • Monitoreo de rendimiento climático continuo	• Seguimiento de rendimiento energético • Actualización de tecnologías bajas en carbono • Alineación con objetivos nacionales de reducción

PROTECCIÓN COSTERA [\[información adicional\]](#)

Tabla 3-2.2: Infraestructura de Protección Costera - Medidas Comunes. Fuente: Elaboración propia, 2025.

Aspecto	Adaptación	Mitigación
Marcos de Evaluación	• Proyecciones de aumento del nivel del mar (0.3-2.5m para 2100) • Modelado multi-escenario de marejadas ciclónicas • Evaluación de riesgos costeros compuestos	• Evaluación de carbono de ciclo de vida marino • Priorización de soluciones de carbono azul • Cuantificación de servicios ecosistémicos costeros
Estándares de Diseño	• Elevaciones de diseño ajustadas al clima • Factores de aumento de intensidad de tormentas (10-20%) • Estándares de protección por períodos de retorno	• Objetivos de intensidad de carbono para defensas costeras • Materiales circulares y reciclados • Diseño multi-funcional con co-beneficios
Métricas de Rendimiento	• Disponibilidad de servicio bajo escenarios climáticos • Resiliencia operacional (50-100 años) • Capacidad de gestión de retiro costero	• Secuestro de carbono azul (2-10 tCO₂/ha/año) • Integración de energía renovable marina • Beneficios de restauración de hábitat costero
Gestión Adaptativa	• Estrategias de gestión costera flexible • Planificación de realineación del límite costero • Sistemas de protección adaptables • Integración de SbN o soluciones mixtas	• Coordinación con energía renovable marina • Restauración de ecosistemas costeros • Gestión de carbono a escala de paisaje marino

CONTROL ALUVIONAL [\[información adicional\]](#)

Tabla 3-2.3: Control de Inundaciones y Gestión Fluvial - Medidas Comunes. Fuente: Elaboración propia, 2025.

Aspecto	Adaptación	Mitigación
---------	------------	------------

Marcos de Evaluación	• Incrementos de precipitación (20-40%) en diseño hidrológico • Modelado multi-escenario de flujo fluvial • Evaluación de riesgos de inundación compuesta	• Evaluación de carbono de infraestructura fluvial • Priorización de SbN • Cuantificación de carbono ribereño y de humedales
Estándares de Diseño	• Ajustes de períodos de retorno para defensas • Factores de cambio climático en modelado hidrológico • Diseño multi-funcional de infraestructura fluvial	• Objetivos de carbono incorporado en estructuras • Materiales circulares en construcción hidráulica • Integración de eficiencia energética
Métricas de Rendimiento	• Confiabilidad de servicio bajo condiciones hidrológicas cambiantes • Capacidad de gestión de eventos extremos • Resiliencia de cuenca a largo plazo	• Secuestro de carbono ribereño (tCO₂/ha/año) • Beneficios de restauración de llanuras de inundación • Integración de energía renovable en instalaciones
Gestión Adaptativa	• Gestión adaptativa de cuencas • Coordinación aguas arriba-aguas abajo • Integración de procesos fluviales naturales	• Gestión de carbono a escala de cuenca • Restauración de conectividad de llanuras de inundación • Co-beneficios de calidad del agua y biodiversidad

Especializaciones Regionales:

- Países Bajos: Gestión integral del delta y planificación adaptativa
- Reino Unido: Integración de gestión natural y estrategias de retiro gestionado
- Estados Unidos: Marcos federales multi-amenaza y consideraciones de justicia ambiental
- Australia: Interacciones multi-amenaza e integración del conocimiento indígena
- Canadá: Consideraciones de clima frío y conocimiento tradicional indígena

Síntesis: Patrones Transversales Identificados

Para las tres tipologías de proyectos analizados, es posible reconocer elementos comunes y unidades respectivas con respecto a la integración del cambio climático en la evaluación de los proyectos. Las siguientes tablas sintetizan estos patrones transversales identificados.

ADAPTACIÓN	
Elementos comunes	Unidades de medidas
● Proyecciones Climáticas Multi-Escenario: Todos los países usan 2-4 escenarios climáticos ● Incrementos de Diseño Estándar: Factores de 10-40% para eventos extremos ● Horizontes de Planificación Extendidos: 50-100+ años con consideraciones climáticas ● Gestión Adaptativa: Flexibilidad para modificación bajo condiciones evolutivas ● Evaluación de Riesgos Compuestos: Integración de múltiples amenazas climáticas ● Priorización de SbN: Énfasis en la integración infraestructura verde/azul	● Incrementos de diseño: 10-40% para eventos extremos ● Aumento del nivel del mar: 0.2-2.5m para 2100 ● Períodos de retorno: número de años. Variables dependiendo del tipo de infraestructura y escenario climático considerado. ● Tiempo de recuperación: 24-72 horas para infraestructura crítica ● Vida útil de diseño: 50-100+ años ● Secuestro de carbono azul: tCO2/ha/año

MITIGACIÓN	
Elementos comunes	Unidades de medidas
● Evaluación Ciclo de Vida del carbono: Contabilidad comprensiva desde idea a cierre ● Integración de Precio de Carbono: Valoración económica (\$51-€100/tCO2) ● Objetivos de Recuperación de Carbono: Períodos de 10-15 años típicamente ● Integración de Energía Renovable: Coordinación con objetivos nacionales de energía limpia	● Precio del carbono: \$ por tCO2 ● Secuestro de carbono ribereño: tCO2/ha/año ● Período de recuperación de carbono: 10-15 años ● Integración de energía renovable: 20-50% típicamente

3-2.4 Análisis de proyectos seleccionados

El objetivo de esta actividad fue identificar los atributos clave que debe contener un proyecto de infraestructura para actuar como facilitador de la adaptación y mitigación del cambio climático, considerando las tres tipologías definidas por el MOP: puentes, defensas costeras y control aluvional.

La hipótesis central plantea que la identificación de estos atributos depende tanto del tipo de proyecto como de su contexto territorial, aunque existen factores transversales que determinan el potencial adaptativo de cualquier intervención y que pueden informar de manera más amplia al Sistema Nacional de Inversiones (SNI). Asimismo, se considera que una valoración diferenciada de los atributos según las condiciones climáticas locales y las proyecciones futuras permitirá desarrollar un sistema de clasificación estandarizado, facilitando la toma de decisiones en materia de inversión resiliente y la priorización de proyectos con mayor impacto frente al cambio climático.

Las tres tipologías de casos (Tabla 3-2.4.1) de estudio fueron seleccionadas para representar distintos tipos de infraestructura y amenazas climáticas, los tres proyectos que se presentan a continuación fueron analizados como casos de estudio representativos de distintas tipologías de infraestructura y contextos territoriales, permitiendo comparar cómo cada uno integra los componentes climáticos en su diseño y planificación.

Tabla 3-2.4. Los Tres Casos de Estudio. Fuente: GeoAdaptive y MOP, 2025.

CASO 1:	CASO 2:	CASO 3:
Reposición Puente Los Vientos en Ruta ZK-426	Diseño conservación defensas costeras sectores Avenida Perú y Juan de Saavedra	Obras de Control Aluvional en Quebrada Bonilla
Dirección de Vialidad (DV)	Dirección de Obras Portuarias (DOP)	Dirección de Obras Hidráulicas (DOH)
<i>Tipología: Infraestructura vial, específicamente puentes</i>	<i>Tipología: Infraestructura de protección del borde costero</i>	<i>Tipología: Control aluvional y de manejo de cauces</i>
<i>Amenazas climáticas: Crecidas e inundaciones</i>	<i>Amenazas climáticas: Marejadas</i>	<i>Amenazas climáticas: Crecidas e inundaciones</i>
<i>Localización: Región del Maule</i>	<i>Localización: Región de Valparaíso</i>	<i>Localización: Región de Antofagasta</i>

3-2.5. Metodología

Para abordar este objetivo, se aplicó una metodología comparativa y cualitativa basada en la identificación de indicadores internacionales de mejores prácticas y su evaluación en los tres proyectos seleccionados. Esta metodología permitió evaluar de manera sistemática el grado de integración de criterios de adaptación y mitigación en cada caso, así como derivar atributos comunes que puedan servir de referencia para el fortalecimiento de las metodologías de evaluación del SNI. Mayor información con respecto a los documentos revisados, revisión de documentos, y costos y beneficios considerados están en [Anexo 3-3](#).

La metodología aplicada combinó tres componentes analíticos: (i) la construcción de un marco de referencia internacional a partir de 24 indicadores de mejores prácticas (elaborado en [Sección 3-2.1](#)). Estos indicadores se agruparon en cuatro dimensiones (Marcos de Evaluación, Estándares de Diseño, Métricas de Desempeño y Gestión Adaptativa) y se clasificaron según su orientación hacia adaptación o mitigación ([Anexo 3-3](#)). (ii) La aplicación de dichos indicadores a los tres casos de estudio nacionales mediante un sistema cualitativo tipo semáforo, y (iii) la caracterización de atributos y contextos territoriales asociados a la resiliencia.

Verde: El indicador es recurrente y se aplica de manera consistente de forma que informa la implementación (**Implementado**)

Naranja: El indicador está presente, pero carece de implementación o asignación clara de responsabilidad institucional (**Parcialmente implementado**)

Rojo: El indicador está ausente en los materiales del caso de estudio (**No implementado**)

Resultados

Los resultados de esta evaluación permitieron comparar el grado de integración climática entre los tres casos, generando una medida relativa de integración técnica e institucional de los criterios de resiliencia.

En la siguiente etapa, se realizó un análisis cualitativo complementario para identificar los atributos clave que explican por qué cada proyecto puede considerarse un facilitador de la integración climática. Algunos de estos atributos son transversales (p. ej., flexibilidad de diseño o planificación intersectorial), mientras que otros responden a necesidades tipológicas específicas (estructurales, hidráulicas o costeras).

Finalmente, se efectuó un mapeo territorial de amenazas y beneficiarios para contextualizar las condiciones de riesgo y los posibles impactos sociales y económicos. Este análisis permitió identificar zonas de mayor vulnerabilidad y beneficiarios potenciales de las acciones resilientes. Los datos se priorizaron directamente de los documentos de los casos de estudio, y se complementaron con fuentes secundarias abiertas, incluyendo el INE. Se muestra la ubicación de los tres casos seleccionados dentro de sus regiones de localización (Figura 3-2.2).



Figura 3-2.2: Ubicaciones de los Casos de Estudio dentro de Chile. Los números corresponden a la Tabla 3-2.4
Fuente: Elaboración propia, 2025.

3-2.6. Caso 1: Reposición Puente Los Vientos en Ruta ZK-426

El Puente Los Vientos (Ruta CH-115) conecta dos pequeñas comunidades a lo largo de los ríos Maule y Claro con la Carretera San Clemente-Paso Pehuenche. El puente fue cerrado en 2023 por riesgo de colapso después de que fuertes crecidas en el río Claro causarían que se abriera una grieta de 10 pulgadas en el medio del puente. La DV evaluó la estabilidad de la llanura de inundación, modeló los caudales máximos del río bajo escenarios climáticos futuros, y evaluó los costos sociales y económicos a través de impactos en el tráfico para 4 alternativas de diseño para evaluar la reconstrucción de un puente en la misma ubicación (Figura 3-2.3).

Adaptación (11/12) Implementado o Parcialmente	Evaluación compuesta de riesgo de cambio climático de precipitación, inundaciones y deslizamientos de tierra con pronósticos de múltiples escenarios (RCP8.5); solicita monitoreo continuo; considera el uso de servicios sociales y económicos
	Prioriza la resiliencia pero no establece planes o iniciativas específicas
	No establece objetivos de tiempo de recuperación o protocolos para perturbaciones
Mitigación (2/12) Implementado o Parcialmente	Pronostica cambios modales en el transporte, incluyendo el transporte público
	Requiere informe de mitigación pero se enfoca en emisiones de material particulado; Los diseños y materiales son específicamente alentados a usar las prácticas más innovadoras
	No considera tecnologías/materiales bajas en carbono o rendimiento energético
10/24 Implementado 3/24 Parcialmente 11/24 No Implementado	

Los siguientes atributos fueron identificados en los antecedentes del proyecto como prácticas de integración climática presentes, en forma total o parcial, según la evaluación semáforo. Constituyen las buenas prácticas más destacadas de este caso de estudio y los elementos a considerar para su replicabilidad en el SNI.

Atributos Clave Identificados

1. Diseños Alternativos

- Requiere múltiples alternativas con materiales innovadores que no sólo "recuperen los beneficios perdidos, sino que reduzcan la vulnerabilidad adicional"
- Define áreas ambientalmente sensibles restringidas al desarrollo
- Requiere la Preparación del Informe de Estudios Ambientales Básicos e Informe de Clima y Meteorología

2. Evaluación del Riesgo de Desastres

- Considera la hidrología, estabilidad de las riberas y estacionalidad de la convergencia compleja de ríos
- Modela flujos máximos de precipitación extrema esperada con hasta un período de retorno de 300 años, así como terremotos con un período de retorno de 1000 años

- c. Considera tanto escenarios moderados (RCP4.5) como extremos (RCP8.5)

3. Evaluación de Costo Social

- a. Costo por Kilómetro de Conectividad Segura, Costo por Usuario, VPN, TRR
- b. Requiere descripción de grupos sociales y económicos más impactados
- c. Considera conectividad e impacto a otra infraestructura cercana

3-2.7. Caso 2: Diseño conservación defensas costeras sectores Avenida Perú y Juan de Saavedra

Las defensas costeras en Avenida Perú y Paseo Juan de Saavedra protegen las carreteras adyacentes y áreas recreativas de las inundaciones por marejadas. Están construidas con roca, material de relleno y tetrápodos (estructuras de concreto prefabricadas). El estudio del MOP modeló y evaluó mecánicamente diseños alternativos, incluyendo SbN (playa artificial), para escenarios climáticos futuros dado que la efectividad del diseño actual ha disminuido, y se han producido daños desde 2015 (Figura 3-2.4).

Adaptación (7/12) Implementado o Parcialmente	Considera riesgos compuestos (marea, olas) bajo múltiples escenarios; Utiliza modificaciones de altura considerando el cambio climático (SLR); Considera tanto el rendimiento como el daño estructural en el análisis de compensaciones
	Considera aumentos constantes en estados de presión (olas, marea) pero no la influencia de eventos de pulso (tormentas extremas, tsunamis)
	Carece de consideraciones integrales de disponibilidad de servicios más allá del cierre (recomendar un análisis de redundancias); No considera vías de adaptación alternativas más allá del reforzamiento de la estructura
Mitigación (2/12) Implementado o Parcialmente	Considera múltiples diseños con co-beneficios (recreación, SbN)
	Utiliza materiales reciclables pero no establece planes específicos
	No considera oportunidades de economía azul, o impactos en hábitats marinos, servicios ecosistémicos, u oportunidades para energía renovable
7/24 Implementado 2/24 Parcialmente 15/24 No Implementado	

Los siguientes atributos fueron identificados en los antecedentes del proyecto como prácticas de integración climática presentes, en forma total o parcial, según la evaluación semáforo. Constituyen las buenas prácticas más destacadas de este caso de estudio y los elementos a considerar para su replicabilidad en el SNI.

Atributos Clave Identificados

1. Diseños Alternativos

- a. Se requieren múltiples alternativas, incluyendo modificaciones adaptativas de altura
- b. Prueba el rendimiento de una solución basada en la naturaleza (playa artificial)

- c. Reconoce la heterogeneidad de material y necesidades de viabilidad a lo largo de la longitud de la defensa
- 2. **Evaluación del Riesgo de Desastres**
 - a. Considera +1.6 m de aumento del nivel del mar y hasta +2.68 m de marea alta normal
 - b. Actualiza la estrategia de evaluación considerando tanto mareas como olas
- 3. **Pruebas y Evaluación Comparativa**
 - a. Supera la falta previa de registros y datos del sitio con estudios y modelos adicionales
 - b. Implementa una fase rigurosa de modelado de parámetros seguida de pruebas de diseño mecánico
 - c. Considera la tasa de daño (estabilidad 2.8% vs diagnosticado 12.5%) en paralelo a la efectividad de reducción (11-74% desbordamiento) para seleccionar un diseño.

3-2.8. Caso 3: Obras de Control Aluvional en Quebrada Bonilla

El proyecto en Quebrada Bonilla, entre Antofagasta y La Chimba, instaló muros reductores de pendiente, piscinas de sedimentación y canales colectores para controlar los flujos aluviales de dos ramas del Estero Bonilla. El estero es un cauce estacional que deposita escombros y sedimentos a través de flujos de lodo de la Cordillera de la Costa cada vez que hay eventos de precipitación importantes en la región que de otro modo es árida. En 2015, más de 6.000 edificios en el área resultaron críticamente dañados por lodo espeso, rocas y escombros (NASA Earth Observatory, 2015). Este proyecto de infraestructura protege directamente a 12,840 personas que viven en la zona de evacuación debajo del Estero Bonilla (Figura 3-2.5).

Adaptación (11/12) Implementado o Parcialmente	Modelado intensivo de caudales bajo escenarios climáticos extremos; Cálculo extensivo de costos sociales y valores monetarios de los beneficios obtenidos
	Describe acciones para mantenimiento y monitoreo, pero no designa actores
	Hace referencia a instrumentos de planificación territorial para el manejo de cuencas, pero no emplea específicamente un enfoque de manejo adaptativo de cuencas
Mitigación (1/12) Implementado o Parcialmente	No hace referencia a la gestión de carbono a escala de cuenca
	Evaluación limitada del carbono de la infraestructura fluvial
	No considera estrategias de manejo ribereño o efectos en la biodiversidad y calidad del agua
9/24 Implementado 3/24 Parcialmente 12/24 No Implementado	

Los siguientes atributos fueron identificados en los antecedentes del proyecto como prácticas de integración climática presentes, en forma total o parcial, según la evaluación semáforo.

Constituyen las buenas prácticas más destacadas de este caso de estudio y los elementos a considerar para su replicabilidad en el SNI.

Atributos Clave Identificados

1. Evaluación de Costo Social

- a. Identifica la zona de evacuación y las personas directamente expuestas (12,840)
- b. Evalúa cuantitativamente el valor monetario de 12 beneficios sociales ([Anexo 3-3](#))
- c. Utiliza un proceso participativo con sensibilidad de género

2. Evaluación del Riesgo de Desastres

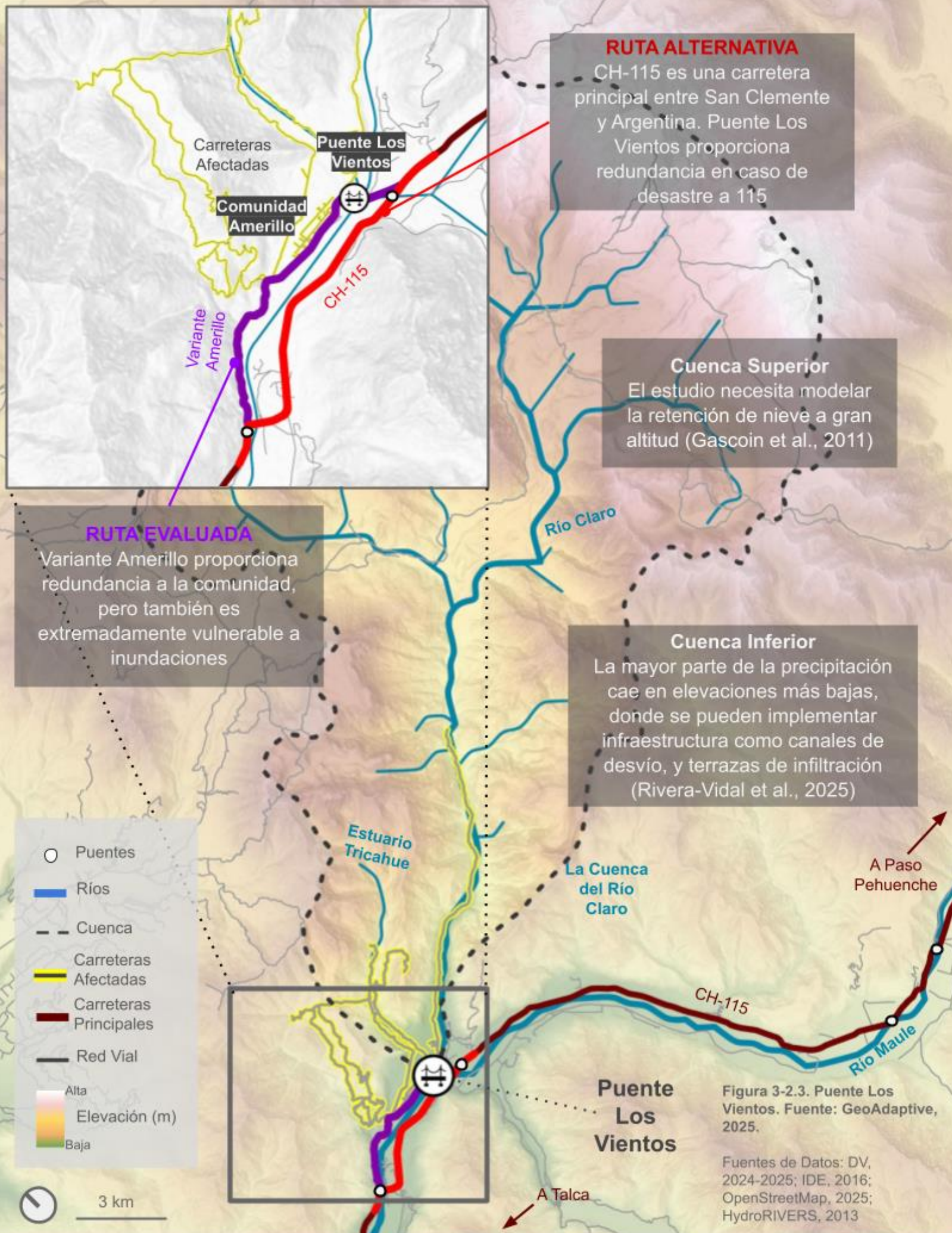
- a. Utilizó escenarios climáticos extremos (RCP8.5) y modelos de proyección
- b. Aumentó los parámetros de diseño de caudal máximo en un 8% (período de retorno de 200 años)

3. Planificación Regional

- a. Integra la cuenca en estrategias de planificación regional (no edificable), incluyendo específicamente el Plan de Aguas Lluvias de Antofagasta
- b. Identifica servicios públicos vulnerables (subestación de agua potable)
- c. Realizó un Análisis Integral de Relevancia Ambiental para determinar si el proyecto está sujeto al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental

Fichas de proyectos analizados

A continuación se presentan los mapas de localización de cada caso de estudio dentro de su región. Cada mapa identifica la ubicación específica del proyecto, las principales amenazas climáticas asociadas a la tipología de infraestructura analizada, el área de influencia directa considerada en el análisis territorial, y la población potencialmente beneficiada por la intervención. Esta información constituye el contexto geográfico y de riesgo que fundamenta la evaluación de integración climática desarrollada en cada caso.



RUTA ALTERNATIVA

CH-115 es una carretera principal entre San Clemente y Argentina. Puente Los Vientos proporciona redundancia en caso de desastre a 115

Cuenca Superior

El estudio necesita modelar la retención de nieve a gran altitud (Gascoin et al., 2011)

RUTA EVALUADA

Variante Amerillo proporciona redundancia a la comunidad, pero también es extremadamente vulnerable a inundaciones

Cuenca Inferior

La mayor parte de la precipitación cae en elevaciones más bajas, donde se pueden implementar infraestructura como canales de desvío, y terrazas de infiltración (Rivera-Vidal et al., 2025)

○ Puentes

— Ríos

- - Cuenca

Carreteras Afectadas

Carreteras Principales

Red Vial

Alta
Elevación (m)
Baja



3 km

Figura 3-2.3. Puente Los Vientos. Fuente: GeoAdaptive, 2025.

Fuentes de Datos: DV, 2024-2025; IDE, 2016; OpenStreetMap, 2025; HydroRIVERS, 2013

Figura 3-2.4. Avenida Perú y Paseo San Juan de Saavedra. Fuente: GeoAdaptive, 2025.

Fuentes de Datos: DOP, 2016-2018; IDE, 2016; OpenStreetMap, 2025; Esri, 2025; SHOA, 2021

RUTA ALTERNATIVA 1

Av. Libertad proporciona una redundancia de carretera principal, pero se encuentra en una amplia llanura de inundación de marejada ciclónica

Avenida Perú

RUTA EVALUADA 1

Av. Perú es un espacio recreativo turístico, y Av. San Martín es una carretera principal

RUTA EVALUADA 2

Av. España es una carretera principal crítica para conectar con el centro de Viña del Mar

Viña del Mar

Paseo San Juan de Saavedra

RUTA ALTERNATIVA 2

Av. España carece de redundancias, con solo pequeñas carreteras vecinales limitadas por un barranco que proporcionan alternativas

Zona de Mejora de Mitigación

Estanques de Retención
Mayoría en Brazo Norte

Muros Reductores de Pendiente
Enfocados en Brazo Sur (más empinada)

Canales Colectores.
Para canalizar el agua hacia rutas deseables

Cuenca Superior
El uso saludable del suelo y la cobertura mitigan los flujos abajo (Pizarro et al., 2010)

Extracción
Las minas de agregados y sitios abandonados necesitan mitigación para reducir los flujos (CIGIDEN, 2019)

Cuenca Inferior
Integra la infraestructura del proyecto con sistemas de alerta (UNDRR, 2025)

450 m

50 m

- Zonificación Pública
- Zonificación Comercial
- Zonificación Residencial

--- Topografía (50 m)

--- Cuenca

--- Zona de Evacuación

--- Carreteras Principales

--- Red Vial

Alta
Elevación (m)
Baja

Sitio de Mejora

Quebrada Bonilla

Av. Arturo Canto

Av. Pedro Aguirre Cerda

Av. Irazabal

Antofagasta

Área de Evacuación
Población de 12,480 sin redundancias para el transporte

Figura 3-2.5. Quebrada Bonilla. Fuente: GeoAdaptive, 2025.

Fuentes: DOH, 2022; IDE, 2016; OpenStreetMap, 2025; Esri, 2025

0.5 km

Consideración general:

Definición de área de influencia y población objetivo

La delimitación del área de influencia combina dos insumos complementarios: (1) el enfoque territorial, que identifica las zonas directamente impactadas por la pérdida de servicio de la infraestructura —carreteras bloqueadas, cuencas inundadas o áreas de evacuación según la tipología del proyecto—; y (2) las simulaciones climáticas por escenario (SSP2-4.5 / SSP5-8.5), que determinan cómo varía la extensión del área afectada según la intensidad del evento proyectado. Esta combinación permite identificar tanto la población directamente expuesta como la afectada indirectamente por cortes en conectividad o servicios críticos, ampliando el universo de beneficiarios más allá del área de impacto directo y permitiendo capturar de forma más completa los beneficios de la infraestructura resiliente en términos de daños evitados, continuidad de servicios y reducción de pérdidas para las actividades económicas locales.

En términos generales, el área de interés afectada se estimó como la zona directamente impactada por una pérdida de servicio de la infraestructura del caso de estudio. En el Caso 1 se refiere a las carreteras y población que se vuelven inaccesibles por la falla del puente. Sin embargo, la redundancia que proporciona el puente como vía alternativa amplía los beneficios, más allá del área afectada. En el Caso 2, se refiere al área de la cuenca y población afectada por un flujo aluvional, esta dimensión puede ser ampliada considerando los afectados indirectamente por cortes en servicios como es el caso de la red sanitaria. En el Caso 3, donde la infraestructura protege una escala más local, el área directamente impactada es pequeña, pero con una población urbana mucho mayor afectada indirectamente por una pérdida de conectividad de transporte a través de carreteras primarias. El número de personas que viven en estas zonas puede entenderse como los beneficiarios potenciales de los casos de estudio. La identificación de beneficiarios potenciales servirá como un insumo importante para la herramienta en desarrollo y la siguiente fase del proyecto (Figura 3-2.6).

Los siguientes puntos corresponden a criterios utilizados para delimitar el área de influencia y la población objetivo en cada caso de estudio:

1. Puente Los Vientos

- a. Población afectada en caso de corte de puente
- b. Redundancia de la red vial (ruta alternativa)
- c. Interrupción de tráfico y aumento de tiempos de viaje

2. Defensas Costeras Avenida Perú y Juan de Saavedra

- a. Área inundable variable según escenario climático considerado
- b. Población afectada variable según escenario climático considerado

3. Control Aluvional en Quebrada Bonilla

- a. Área inundable variable según escenario climático considerado
- b. Población afectada variable según escenario climático considerado

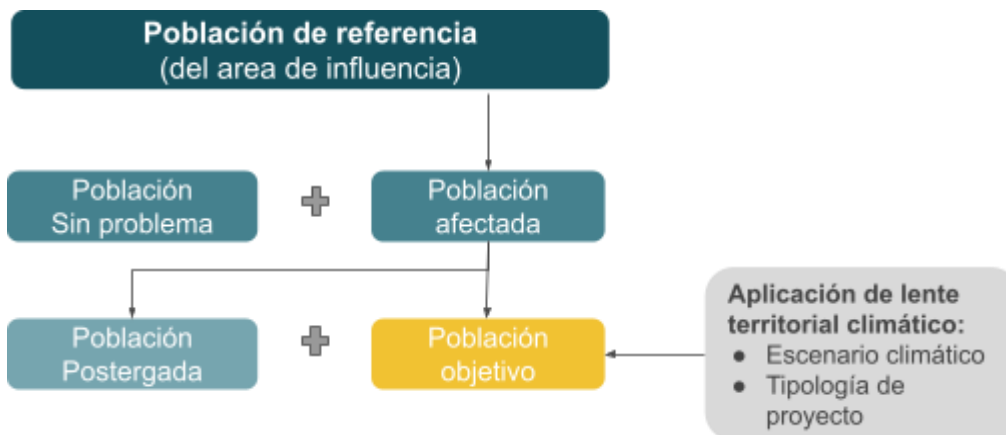


Figura 3-2.6: Marco para la Población Afectada. Fuente: ILPES, 2025.

Consideración especial para puentes (Caso 1):

Análisis de tipologías estructurales sin apoyos intermedios en cauces

El análisis de tipologías estructurales que eliminan la necesidad de apoyos intermedios en cauces representa una estrategia fundamental para desarrollar infraestructura resiliente al cambio climático. Esta aproximación requiere una evaluación integral del costo del ciclo de vida que considere no solo la inversión inicial, sino también los beneficios a largo plazo en términos de reducción de vulnerabilidad y costos de mantenimiento.

Beneficios de Eliminar Apoyos Intermedios en Cauces	Análisis del Costo del Ciclo de Vida (LCC) Componentes del Análisis LCC
1. Reducción de Vulnerabilidad a la Socavación Eliminación del riesgo principal: - La socavación es una de las principales causas de falla en puentes y estructuras sobre cauces - Los apoyos intermedios actúan como obstáculos al flujo, generando turbulencia y erosión localizada - Su eliminación reduce significativamente el riesgo de colapso estructural Mejora de la capacidad hidráulica: - Mayor sección libre para el paso del agua - Reducción de la obstrucción al flujo durante crecidas - Menor acumulación de sedimentos y material flotante 2. Resiliencia ante Eventos Climáticos Extremos Adaptación al cambio climático: - Mayor capacidad para soportar eventos hidrológicos extremos más frecuentes e intensos - Reducción de la vulnerabilidad ante cambios en los patrones de precipitación - Mejor respuesta ante variaciones en el régimen hidrológico	1. Costos de Inversión Inicial: - Diseño y construcción de estructuras de mayor luz libre - Materiales y tecnologías especializadas - Fundaciones más robustas 2. Costos de Operación y Mantenimiento: - Inspecciones y mantenimiento rutinario - Reparaciones menores y mayores - Costos de acceso para mantenimiento 3. Costos de Falla y Reemplazo: - Probabilidad de falla por socavación - Costos de emergencia y reparación - Costos sociales y económicos por interrupción del servicio Se recomienda desarrollar un análisis de costo-beneficio comparativo que permita medir las ventajas y desventajas de entre una estructura tradicional con apoyos intermedios y la alternativa de una estructura sin apoyos intermedios. En relación al SNI, esta aproximación implica solventar limitaciones, tales como: - Enfoque en costo inicial vs. costo del ciclo de vida - Evaluación de riesgos y escenarios climáticos asociados - Metodologías que no incorporan costos y beneficios de resiliencia (ahorros del costo total del ciclo de vida) - Actualización de tasas de descuento considerando riesgos a largo plazo

Consideración especial para obras de adaptación (Caso 2 y 3):

Análisis de costo-eficiencia y análisis de costo-beneficio

Las obras de control aluvional y defensas costeras buscan reducir la vulnerabilidad de la población, la economía y su infraestructura. Este tipo de obras, se puede relacionar con frecuencia a los impactos del cambio climático al permitir adaptarse mejor a los fenómenos climáticos extremos y tener más capacidades para disminuir la vulnerabilidad de las personas, infraestructuras y sectores económicos. Por lo tanto, estas pueden ser consideradas iniciativas asociadas a la gestión de riesgos de desastres climáticos (prevención y resiliencia ante eventos climáticos). Su identificación contribuye a medir y reportar la inversión pública climática. En relación a su evaluación, en base al análisis comparativo internacional sobre la integración del cambio climático en la evaluación de proyectos de inversión pública, se recomienda utilizar un **análisis costo-beneficio mejorado** que integre consideraciones climáticas.

Enfoque Canadiense - Climate Lens Assessment	Modelo Holandés - Análisis Multi-Criterio
Canadá emplea un análisis costo-beneficio mejorado que incorpora: ● PSC para valorar emisiones ● Co-beneficios climáticos y co-costos ● Daños evitados por impactos climáticos ● Implicaciones de costos operacionales a largo plazo	Los Países Bajos utilizan un Análisis de Decisión Multicriterio (MCDA) mejorado que: ● Pondera la eficiencia económica contra beneficios de mitigación y adaptación climática ● Incluye valoración de servicios ecosistémicos ● Considera protección contra inundaciones y secuestro de carbono
Aproximación Australiana - Análisis Regulatorio de Impacto Mejorado	Parámetros para un Análisis Costo-Beneficio Mejorado:
Australia implementa un análisis costo-beneficio que incorpora: ● PSC ● Cuantificación de co-beneficios climáticos ● Evaluación de daños climáticos evitados	● Costos de construcción y operación ● Beneficios directos (protección de infraestructura y poblaciones) ● Beneficios indirectos: servicios ecosistémicos, recreación, biodiversidad ● Daños evitados: pérdidas económicas por inundaciones/aluviones ● Co-beneficios: mejoras en calidad del agua, hábitat, turismo
La aplicación de un análisis costo-beneficio mejorado con integración climática contribuye a capturar el valor completo de los beneficios múltiples e incorporar la valoración económica de daños evitados. En relación a la gestión del SNI, permite la comparación directa con otras inversiones públicas para facilitar la toma de decisiones informadas cumpliendo con estándares internacionales de evaluación de infraestructura resiliente.	

Síntesis: Atributos clave por tipología de proyecto

La tabla valida la presencia tanto de atributos específicos de cada tipología como de atributos clave comunes a todas ellas. No obstante, los beneficios sociales más relevantes tienden a ser transversales, originándose más bien a partir de condiciones o características constructivas particulares al contexto de cada tipología. Se enumeran los atributos clave de la integración climática, los cuales generan beneficios sociales y económicos para las comunidades circundantes. Estos desempeñan un papel en la definición de los indicadores y beneficios de interés para construir la herramienta de evaluación de proyectos ([Sección 3.3](#)).

ATRIBUTOS CLAVE	BENEFICIOS
CASO 1: PUENTES	
Plan Operacional a Largo Plazo	Costos Evitados de Alternativas y Rehabilitación
Capacidades de Modificación de Infraestructura	Reducción de Tiempo de Recuperación
Estabilidad y Sensibilidad del Paisaje	Redundancia para Carreteras Principales
CASO 2: DEFENSA COSTERA	
Proyecciones de Aumento del Nivel del Mar	Turismo Mantenido
Parámetros Nuevos de Tormenta y Erosión	Bajo Mantenimiento
Elevaciones de Diseño Ajustadas al Clima	Oportunidades para Materiales Reciclados
CASO 3: CONTROL ALUVIONAL	
Proceso participativo con enfoque de género	Tiempos de Interrupción Reducidos, específicamente Servicios Sanitarios
Plan de Mantención y Mantenimiento	Efectos de tormenta más Predecibles
Manejo Adaptativo de Cuencas	Daños de Inundación Evitados
ATRIBUTOS TRANSVERSALES	
Modelado de Múltiples Escenarios	Co-beneficios Sociales y Económicos
Consideración de Múltiples Alternativas de Diseño	Confiabilidad/Continuidad del Servicios y Actividades Económicas
Máximos de Umbral de Diseño Mejorados	Daño Anual Esperado Evitado
Extensa Red de Monitoreo Meteorológico	Emisiones Reducidas o Secuestro Aumentado



3-3. Evaluación social

3-3. Metodologías de evaluación social y herramienta

En 2021, Chile publicó la Estrategia Climática de Largo Plazo de Chile 2050. Como resultado de esta estrategia, en junio de 2022 se promulgó la Ley Marco de Cambio Climático (Ley N° 21.455). El objetivo central de esta ley es abordar los desafíos que presenta el cambio climático, promoviendo una transición hacia un desarrollo con bajas emisiones de GEI y otros factores climáticos, con el fin de alcanzar y mantener la neutralidad de emisiones de GEI para el año 2050. La ley se fundamenta en principios clave, como el de costo-efectividad, el cual establece que la gestión del CC debe priorizar medidas de mitigación y adaptación que sean eficaces y, al mismo tiempo, representan los menores costos económicos, ambientales y sociales, considerando los costos indirectos de la inacción.

Además, el Artículo 53 asigna al MDSF la responsabilidad de evaluar las iniciativas de inversión que soliciten financiamiento estatal. Esta evaluación debe determinar la rentabilidad social de dichas iniciativas, asegurar la eficacia y eficiencia en el uso de los fondos públicos y procurar la disminución de los efectos adversos del CC, alineándose con las estrategias y políticas de crecimiento y desarrollo económico y social del país.

Con estas consideraciones, la herramienta presentada en esta sección del documento busca apoyar al MDSF en avanzar en el cumplimiento de esta obligación normativa en relación al cambio climático, específicamente al considerar los beneficios asociados a la **resiliencia climática** en las metodologías tradicionales de evaluación social de proyectos de inversión pública.

Se plantea el desarrollo de un módulo - herramienta - complementario a la metodología actual, que considera las siguientes necesidades:

- Actualmente al no existir parámetros estandarizados para cuantificar la adaptación de los proyectos de infraestructura se genera una limitante para su incorporación en la evaluación social, desincentivando el diseño de infraestructura más resiliente.
- Centrarse en la integración de parámetros simples que permitan medir la adaptación climática, para impulsar proyectos de infraestructura resiliente. Posteriormente podrían incluirse parámetros que permitan integrar la mitigación climática.
- Inclusión de dos escenarios de cambio climático (intermedios y extremos), lo que busca valorizar beneficios futuros y sus retornos a más largo plazo complementando aquellos beneficios más inmediatos que la infraestructura menos resiliente pueda generar.

3-3.1 Propuesta de adecuaciones a metodologías tradicionales

Se proponen adecuaciones operativas complementarias a la evaluación social actual que permitan incorporar, de manera explícita y trazable, la adaptación a riesgos climáticos en las tipologías MOP de obras hidráulicas, puentes y protección de borde costero; Definiendo su integración en el SNI mediante puntos de inserción claros en las guías metodológicas y RIS, durante la preinversión, y asegurando la coherencia con las metodologías complementarias de RRD.

Estas adecuaciones se rigen por principios de consistencia como la unidad de referencia, el horizonte y la vida útil, la TSD, el uso de precios sombra, la verificación de adicionalidad, la prevención de doble conteo, y un enfoque territorial con trazabilidad de datos y supuestos. El marco lógico de integración se resume a continuación (Figura 3-3.1).

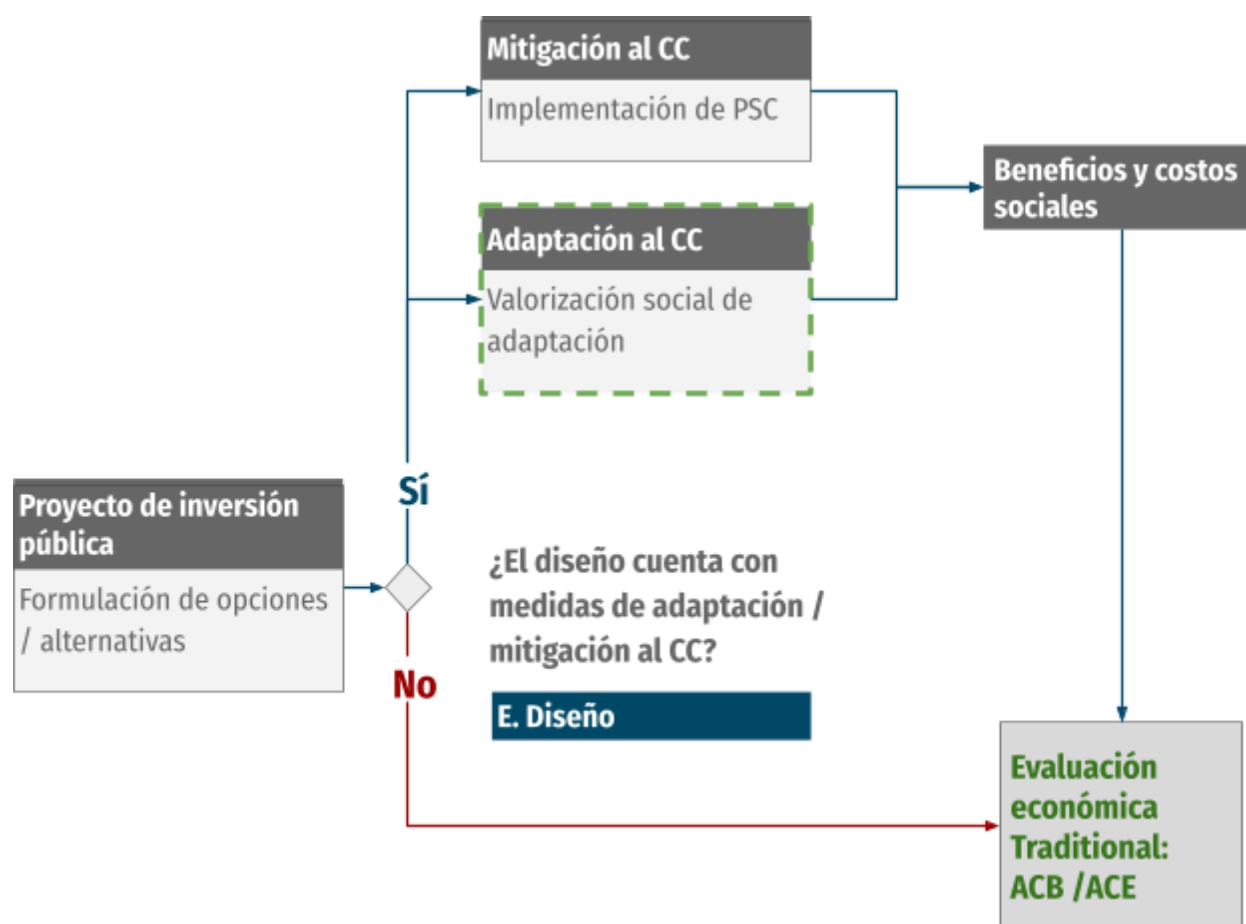


Figura 3-3.1 Marco lógico de integración. Fuente: Elaboración propia, 2025.

Implementación en el SNI

¿Para cuáles proyectos se contempla la evaluación por adaptación al cambio climático?

Se consideran tres tipologías: control aluvional, puentes y protección costera. Estos proyectos utilizan parámetros específicos de evaluación adaptados a sus características particulares y vulnerabilidad ante eventos climáticos extremos. Posteriormente, se contempla la ampliación progresiva de tipologías así como la implementación de un esquema diferenciado de acuerdo con umbrales de inversión y consideraciones de efectos de escenarios climáticos a nivel local. Esta aproximación escalonada permitirá validar la metodología en proyectos críticos antes de su aplicación generalizada, asegurando una implementación eficiente y efectiva de la evaluación de adaptación al cambio climático.

Monitoreo y gestión adaptativa

Los parámetros propuestos representan un punto de partida para incorporar la adaptación al cambio climático en la evaluación social de proyectos, por lo que es importante mantener un monitoreo constante para ajustar y adaptar la herramienta según el desempeño de los parámetros, efectividad de medidas de adaptación y realidad a nivel nacional y regional. Para esto se proponen los siguientes umbrales de alerta:

Tabla 3-3.1: Indicadores de Seguimiento. Fuente: Elaboración propia, 2025.

Indicador de seguimiento	Descripción	Fórmula / Procedimiento	Frecuencia	Umbral de alerta	Acción requerida
Desempeño vs Proyección Climática	Compara el valor observado de la variable climática de diseño (ej. caudal máximo, nivel de marejada, intensidad de precipitación) con la proyección utilizada en la evaluación del proyecto para el período de análisis.	$\text{Desviación (\%)} = \frac{[\text{Valor observado} - \text{Valor proyectado}]}{\text{Valor proyectado}} \times 100$ El valor observado se obtiene de la red de monitoreo institucional correspondiente (DGA, SHOA, DMC).	Anual	Desviación > 20%	Revisión de parámetros

Indicador de seguimiento	Descripción	Fórmula / Procedimiento	Frecuencia	Umbral de alerta	Acción requerida
Efectividad de Medidas de Adaptación	Mide el grado en que las medidas de adaptación incorporadas en el proyecto están logrando el desempeño operativo esperado bajo las condiciones climáticas observadas.	Efectividad (%) = (Beneficio adaptativo realizado / Beneficio adaptativo proyectado) × 100. El beneficio realizado se estima comparando el DAE observado en el período con el DAE proyectado sin medidas de adaptación.	Bienal	Efectividad < 80%	Ajuste de diseño
Costo-Beneficio Realizado	Contrasta la relación beneficio-costeo efectivamente obtenida durante la operación del proyecto con la relación proyectada en la evaluación social original.	B/C realizado = Beneficios sociales acumulados observados (a valor presente) / Costos totales acumulados observados (a valor presente). Utilizar la misma tasa de descuento aplicada en la evaluación original.	Quinquenal	B/C real < 80% proyectado	Reevaluación metodológica

Recomendaciones adicionales

- Incorporar esta metodología como un módulo adicional a las metodologías de evaluación general y complementaria de evaluación de riesgo de desastres existentes.
- Evitar el doble conteo de costos o beneficios valorizables entre metodologías de evaluación social.
- Implementar modelaciones de áreas de afectación por escenario climático, entendidas como la zona delimitada por la extensión del evento de amenaza proyectado (caudal, marejada o flujo aluvional) bajo los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5. Esta delimitación informa la definición del Área de Influencia Directa del proyecto conforme a la Metodología General del SNI (MDSF, 2025a) y constituye un insumo necesario tanto para la estimación de la población beneficiaria como para el cálculo del DAE en la herramienta BSAC. Las fuentes institucionales disponibles para generar estas modelaciones se detallan en el [Anexo 2-3](#) (ARClím, SHOA, SENAPRED, según tipología de amenaza).
- Usar ARClím como fuente primaria de referencia para determinar cambios en las variables de diseño asociadas a los escenarios climáticos (temperatura, precipitación, nivel del mar, índices de riesgo por macrozona) y para priorizar inversiones mediante análisis multicriterio. Tener presente que ARClím opera a escala regional y puede ser insuficiente para el diseño de obras específicas; en esos casos, complementar con CR2MET (resolución de 5 km para precipitación y temperatura) o con estudios de downscaling a escala local cuando la tipología y magnitud del proyecto así lo requieran. La factibilidad del análisis depende de la variable de diseño y de la disponibilidad de datos validados para el área de emplazamiento del proyecto (ver fuentes disponibles por tipología de amenaza en [Tabla A2-3.2](#), Anexo 2-3).
- Ajustar los parámetros internacionales propuestos de acuerdo con la realidad chilena y su diversidad climática (de acuerdo a datos disponibles a nivel regional y local). Los parámetros de referencia utilizados —factores de intensificación, valores de daño evitado, días de interrupción base y costos de continuidad de servicios— se presentan por tipología de infraestructura en las Tablas 3-3.6, 3-3.7 y 3-3.8 ([Sección 3-3.2](#)), y los datos climáticos institucionales disponibles para su calibración se describen en el [Anexo 2-3](#).
- Considerar medias móviles sobre un intervalo de 30 años, conforme al estándar de normales climatológicas de la Organización Meteorológica Mundial (OMM-No.100, 2017), para caracterizar los cambios efectivos en el clima y mejorar la comparación entre el desempeño real de la infraestructura y la proyección climática de referencia.

Nota sobre alcance y calibración nacional de parámetros.

Los parámetros internacionales incorporados en la herramienta BSAC constituyen valores de referencia derivados de la revisión comparativa de cinco países (Países Bajos, Reino Unido, EE.UU., Australia y Canadá) y fueron aplicados en los tres casos piloto como punto de partida metodológico. Su calibración a la realidad chilena —diferenciada por macrozona climática y tipología de infraestructura— está fuera del alcance de la presente consultoría, dado que requiere datos de proyectos ejecutados, series históricas de costos de interrupción y validación empírica con contrapartes institucionales. Esta calibración constituye el contenido central de las recomendaciones incluidas en el Plan de Acción. Ver Recomendación R6 del plan de acción y es responsabilidad del Comité Técnico Interministerial MOP-MDSF (R7), que dispondrá de los valores iniciales derivados de los tres casos piloto como insumo de partida para ese proceso.

Marco metodológico diferenciado por escenario

Para operacionalizar la valoración social de beneficios de adaptación bajo incertidumbre climática, se propone un enfoque por escenarios que utilice el SSP2-4.5 (moderado) y el SSP5-8.5 (severo) como base de análisis para parametrizar amenazas y efectos en desempeño.¹¹ La lógica es traducir cada escenario en factores de intensificación hidrometeorológica y costera, y vincularlos con atributos de diseño resiliente; luego, estimar cambios en probabilidad y duración de cierres, daños esperados y tiempos de recuperación, y finalmente convertirlos en beneficios monetizados por costos evitados y continuidad operativa. Para informar la decisión de aprobar el proyecto se proponen los indicadores de rentabilidad social detallados en la sección de [metodología de evaluación integrada](#). Esta secuencia preserva la trazabilidad entre supuestos climáticos, diseño y resultados económicos.

Tabla 3-3.2: Características por Escenario Climático. Fuente: Elaboración propia, 2025.

Escenario	Horizonte	Probabilidad de ocurrencia
SSP2-4.5 (Moderado - 2.5°C calentamiento)	2050-2080 (futuro cercano)	60-70% según IPCC AR6
SSP5-8.5 (Severo - 4.5°C calentamiento)	2070-2100 (futuro lejano)	10-20% según IPCC AR6

Adecuaciones por tipología de proyecto

Adecuaciones para obras hidráulicas (control aluvional/manejo de cauces)

En obras hidráulicas y control aluvional, el escenario SSP2-4.5 se implementa como ajustes moderados a las IDF y a los períodos de retorno de diseño (p. ej., aumento de intensidades de precipitación y revisión de caudales pico), mientras que el SSP5-8.5 implica incrementos más exigentes y posibles cambios de tipología o capacidad. Para cada escenario se recomienda el uso de curvas de daño por uso de suelo y tipología de activo, calculando el Daño Anual Esperado (DAE) sin y con medidas, reportando el beneficio como DAE evitado (definición en Listado de abreviaciones). La continuidad de servicio se valora a partir de la reducción en horas de interrupción esperadas, multiplicando las horas evitadas por el valor unitario del servicio correspondiente (agua potable, electricidad u otros servicios críticos) y por la cantidad de hogares afectados, ajustado por el factor de escenario climático según corresponda. (Ver fórmulas de cálculo del DAE por tipología y el procedimiento detallado en las fórmulas BCS (Beneficio por Continuidad de Servicios) y BCC (Beneficio por Continuidad de Conectividad) presentadas en las Tablas 3-3.6, 3-3.7 y 3-3.8, Sección 3-3.2 (Figura 3-3.2).

¹¹ La asignación de un horizonte temporal por escenario responde a los términos acordados con el BID en el marco de esta consultoría (ver sección de Limitaciones). Para la selección de los modelos climáticos globales (GCM) adecuados al área de emplazamiento del proyecto, se recomienda consultar las proyecciones disponibles en ARCLIM y CR2MET, y considerar como referencia los 4 GCMs validados por la DGA en el Balance Hídrico Nacional (escenario RCP8.5) para proyectos en cuencas hidrográficas nacionales.

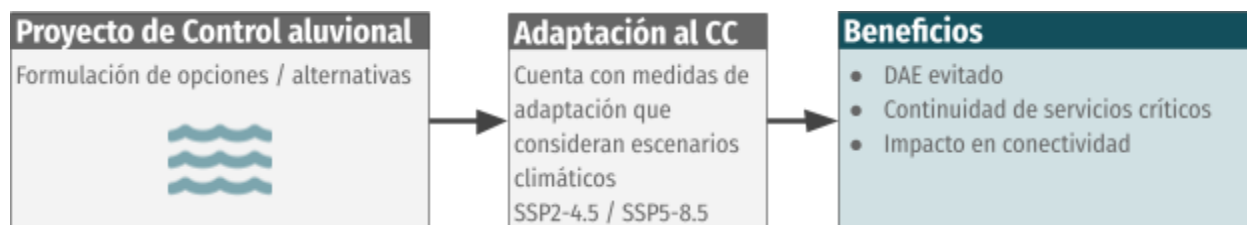


Figura 3-3.2: Adecuaciones para Obras Hidráulicas. Fuente: Elaboración propia, 2025.

Adecuaciones para puentes

En puentes, la parametrización por escenarios se puede traducir en variaciones de niveles de crecida, socavación, velocidades de flujo y viento de diseño que afectan la probabilidad de cierre y la duración de interrupciones. Se sugiere considerar diseños más robustos, como por ejemplo, bajo SSP2-4.5 priorizar incrementos de cota y protecciones de estribos, bajo SSP5-8.5 evaluar redimensionamientos estructurales y medidas redundantes para asegurar tiempos de recuperación objetivo de 24–72 horas en enlaces críticos (Cabinet Office, 2021. ONESF, 2020. FHWA, 2020). La valorización incorpora ahorros por cierres evitados en términos de tiempo de viaje y costos operacionales en rutas alternativas, además de costos de reparación/rehabilitación evitados ante eventos extremos, cuidando la independencia entre componentes para no incurrir en doble conteo (Figura 3-3.3).

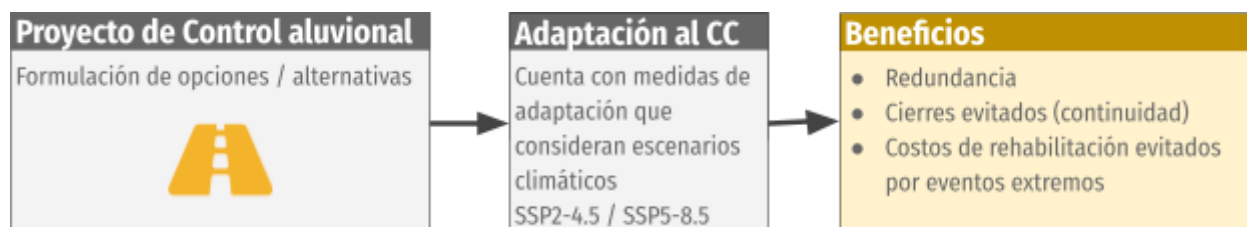


Figura 3-3.3: Adecuaciones para Puentes. Fuente: Elaboración propia, 2025.

Adecuaciones para protección de borde costero

En protección de borde costero, la traducción de escenarios considera la combinación de ascenso del nivel del mar, sobreelevación por tormentas y cambios en el régimen de oleaje. En SSP2-4.5, soluciones grises optimizadas e híbridas (infraestructura + SbN) suelen ser suficientes para mantener niveles de riesgo aceptables; en SSP5-8.5, se evalúan reforzamientos, relocalización o mayor proporción de SbN para atenuar energía de oleaje y controlar la erosión. La valoración se centra en el DAE evitado sobre activos e infraestructura lineal, y en la continuidad funcional de vías/puertos y servicios, con análisis de sensibilidad en parámetros de tormenta y erosión (Figura 3-3.4).

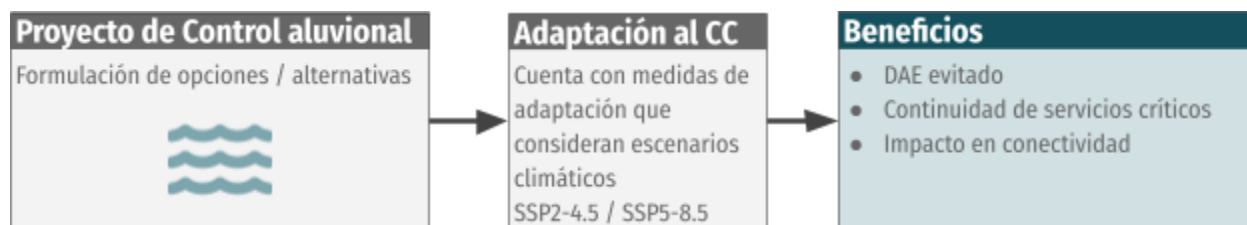


Figura 3-3.4: Adecuaciones para Protección de Borde Costero. Fuente: Elaboración propia, 2025.

Ajustes en parámetros económicos

Incluir los beneficios por adaptación climática conlleva ajustes en los parámetros económicos usados comúnmente, por ejemplo se recomiendan tasas para beneficios climáticos menores que la TSD, lo que da mayor peso a beneficios futuros, favoreciendo proyectos con vida útil larga y beneficios de largo plazo. La tabla 3-3.1.3 muestra una propuesta al respecto.

Tabla 3-3.3: Tasas de Descuento Diferenciadas. Fuente de Datos: HM Treasury (2022), CPB (2021), Treasury Board Secretariat (2022).

Escenario	Tasa Social de Descuento	Tasa para Beneficios Climáticos	Justificación
SSP2-4.5	6% (estándar SNI)	3-4%	Beneficios de largo plazo con menor incertidumbre
SSP5-8.5	6% (estándar SNI)	2-3%	Mayor valor de beneficios bajo alto riesgo

También es importante considerar factores de riesgo e incertidumbre climática dentro de la evaluación, para su uso mediante variaciones para el análisis de sensibilidad. También en la evaluación financiera se puede considerar la prima de riesgo climático con recargos basados en costos adicionales de capital asociados a mayor riesgo climático, esto como análisis complementario separado del ACB, el cual podría ayudar a comparar alternativas resilientes vs. no resilientes. Finalmente el valor de flexibilidad aplica cuando el proyecto incorpora medidas adaptativas con diseño modular o escalable, lo que puede evitar gastos que no se puedan recuperar en sobredimensionamiento temprano o, al revés, permitir elevar protección cuando los umbrales se materializan. La tabla 3-3.4 muestra una propuesta de rangos por escenario para cada parámetro.

Tabla 3-3.4: Factores de Riesgo e Incertidumbre. Fuente de Datos: MDPI (2024), Ginbo et al (2020), HM Treasury (2022)

Parámetro	SSP2-4.5	SSP5-8.5	Aplicación en SNI
Factor de Incertidumbre	15-25%	30-50%	Aplicar en análisis de sensibilidad

Prima de Riesgo Climático	5-10%	15-25%	Adicional en costo de capital
Valor de Flexibilidad	10-20% del VAN	25-40% del VAN	Opciones reales para adaptación

Metodología de evaluación integrada

Esta metodología articula de manera secuencial y trazable, el tránsito desde los riesgos climáticos hasta la valoración social de beneficios de adaptación. Comienza con la definición de escenarios climáticos SSP2-4.5 (moderado) y SSP5-8.5 (severo) y el uso de datos georeferenciados para cruzar amenazas proyectadas con la exposición y vulnerabilidad de activos, población y servicios críticos. Estos insumos se traducen en atributos de diseño resiliente por tipología (obras hidráulicas, puentes y protección costera) y en modelos que estiman efectos operacionales: DAE, probabilidad y duración de cierres, y tiempos de recuperación. La lógica mantiene el siguiente encadenamiento (Figura 3-3.5):



Figura 3-3.5: Lógica de Encadenamiento. Fuente: Elaboración propia, 2025.

Con esos efectos cuantificados, se monetizan los beneficios de adaptación evitando doble conteo: el DAE evitado (daños directos e indirectos plausibles y trazables), la continuidad del servicio (horas de interrupción evitadas valoradas según el sector) y, en puentes, los ahorros por cierres evitados (tiempo de viaje y costos operacionales en rutas alternativas), más los costos de reparación/rehabilitación evitados cuando no estén ya contenidos en el DAE. Luego se construyen flujos sociales con CAPEX/OPEX a precios sombra y se calculan VAN Social, TIR Social y B/C por escenario, incorporando sensibilidad en parámetros clave (intensificación climática, duración de cierres, costos unitarios, demanda). Los resultados se reportan por escenario con supuestos, factores de intensificación, cambios de diseño inducidos y contribución de cada componente de beneficio, asegurando coherencia, comparabilidad y robustez.

Tabla 3-3.5: Indicadores de Rentabilidad Social. Fuente de Datos: HM Treasury (2022), DOT (2021).

Indicador	SSP2-4.5	SSP5-8.5	Criterio de Aprobación SNI
VAN Social Mínimo	$VAN > 0$	$VAN > 0$	Estándar
TIR Social Mínima	$TIR > 8\%$	$TIR > 10\%$	Ajustada por riesgo
Relación B/C Mínima	$B/C > 1.2$	$B/C > 1.5$	Mayor exigencia en escenario severo
Período Recuperación	< 15 años	< 12 años	Menor tolerancia en escenario severo

3-3.2. Selección de indicadores potenciales

Para la selección de indicadores potenciales que valorizan beneficios sociales por adaptación en infraestructura, se utiliza la línea de implementación de adaptación de la figura 3-3.1, priorizando métricas con relación al riesgo y al diseño resiliente, medibles en preinversión, que sean comparables entre alternativas y no redundantes entre sí. Primero se consideran las amenazas con relación directa a las tipologías de estudio, su exposición con un análisis espacial del área de influencia directa e indirecta y se consideran los escenarios climáticos (SSP2-4.5 y SSP5-8.5), con esto se generan indicadores que se traduzcan en beneficios monetizables como: reducción del DAE, continuidad del servicio (horas de interrupción evitadas) y, en conectividad, ahorros por cierres evitados (tiempo y costos operacionales). La determinación de las áreas de influencia asociadas a cada escenario climático es primordial para determinar la población a utilizar para el cálculo de beneficios. La figura muestra una propuesta para valorizar los beneficios sociales por adaptación climática por tipología, cada componente se detalla a partir de la página siguiente (Figura 3-3.6).

DOH control aluvional	Fórmula	$BSAC-CA = \sum_{t=0}^T [(BDI + BCC + BCA - CAA) / (1+r_{ajustada})^t]$
	Componentes 	BSAC-CA: Beneficios sociales por adaptación climática para control aluvional BDI: Beneficio por Daños de Inundación Evitados BCC: Beneficio por Continuidad de Conectividad BCS: Beneficio por Continuidad de Servicios CAA: Costo Adicional de Adaptación r_ajustada: Tasa de descuento ajustada por riesgo climático
DV puentes	Fórmula	$BSAC-P = \sum_{t=0}^T [(BCC + BRV + BRT - CAA) / (1+r_{ajustada})^t]$
	Componentes 	BSAC-P: Beneficios sociales por adaptación climática para puentes BCC: Beneficio por Continuidad de Conectividad BRT: Beneficio por Reducción de Tiempo de Recuperación BRV: Beneficio por Redundancia vial CAA: Costo Adicional de Adaptación r_ajustada: Tasa de descuento ajustada por riesgo climático
DOP protección costera	Fórmula	$BSAC-PC = \sum_{t=0}^T [(BPA + BTM + BCC - CAA) / (1+r_{ajustada})^t]$
	Componentes 	BSAC-PC: Beneficios sociales por adaptación climática para protección costera BPA: Beneficio por Protección de Activos BTM: Beneficio por Turismo Mantenido BCC: Beneficio por Continuidad de Conectividad CAA: Costo Adicional de Adaptación r_ajustada: Tasa de descuento ajustada por riesgo

Figura 3-3.6: Propuesta para Valorizar los Beneficios Sociales. Fuente: Elaboración propia, 2025.

Beneficios sociales por adaptación climática para control aluvional (BSAC-CA)

En control aluvional, los beneficios sociales por adaptación incluyen: BDI (Beneficio por Daños de Inundación Evitados), que mide el DAE evitado sobre infraestructura y activos, estimado con mapas de amenaza, curvas IDF y periodos de retorno ajustados por escenario, inventario de activos, valores de reposición y curvas de daño por tipología; BCC (Beneficio por Continuidad de Conectividad), que monetiza horas de cierre evitadas en accesos y redes vinculadas mediante aforos, matrices O/D, tiempos y longitudes de desvío, valor del tiempo y VOC, usando la probabilidad y duración de interrupciones; BCS (Beneficio por Continuidad de Servicios), enfocado en servicios esenciales (agua potable, saneamiento, salud, energía, educación), valorado como horas de interrupción evitadas multiplicadas por el valor del servicio y costos de contingencia evitados (p. ej., bombeo de emergencia, generadores), con base en demanda/consumo, nodos críticos y estándares mínimos de servicio; CAA (Costo Adicional de Adaptación), que refleja el CAPEX/OPEX incremental de obras resilientes (diques, encauzamientos, SbN); y $r_{ajustada}$, tasa de descuento con prima por riesgo climático según severidad del escenario.

Los valores presentados en la tabla son parámetros de referencia internacionales. Su uso directo es válido como punto de partida en proyectos piloto; sin embargo, para su aplicación sistemática en el SNI deben ser ajustados a las condiciones locales del proyecto y acordados formalmente por el MOP y MDSF. Las fuentes primarias citadas documentan el procedimiento de estimación de cada parámetro y pueden consultarse para orientar ese proceso de calibración.

Tabla 3-3.6: Componentes de Beneficios Sociales Propuestos para Control Aluvional. Fuente: Elaboración propia, 2025.

Fórmula BDI	$\text{Área_protegida_ha} \times \text{Valor_promedio_terreno} \times \text{Probabilidad_inundación_reducida} \times \text{Factor_intensificación}$		
Parámetros	Escenario 4.5	Escenario 8.5	Fuente
Factor de intensificación	1.25	1.5	Xu et al, (2024).
Probabilidad de inundación base	1:50 años	1:25 años	Delta Programme Commissioner (2021)
Valor del daño evitado	\$500-2,000/ha/año	\$2,000-8,000/ha/año	NOAA (2019); Productivity Commission (2020)
Fórmula BCC	$\text{Días_interrupción_evitados} \times \text{Flujo_vehicular_diario} \times \text{Valor_tiempo_promedio} \times \text{Factor_escenario}$		
Parámetros	Escenario 4.5	Escenario 8.5	Fuente
Factor por escenario	1.5	3.0	NCHRP, (2014)
Días de interrupción base	2-5 días/año	5-12 días/año	Infrastructure Canada (2021); DOT (2021)
Valor de tiempo promedio	\$15-25 USD/hora	\$15-25 USD/hora	US DOT, (2023)
Fórmula BCS	$\text{Horas_interrupción_evitadas} \times (\text{Valor_serv_agua} + \text{valor_serv_electrico}) \times \text{hogares_afectados} \times \text{Factor_escenario}$		

Parámetros	Escenario 4.5	Escenario 8.5	Fuente
Factor por escenario	1.2	1.45	IPCC AR6 WGI, Cap. 11 (2021)
Horas de interrupción	6–24 h	12–48 h	EPA (2014); EIA (2024)
Valor servicio agua	7–15 USD/hh·h	15–60 USD/hh·h	OFWAT, (2017)
Valor servicio eléctrico	Viv.: 2–10 USD/h	Viv.: 3–15	ICE calculator, (2025)

Beneficios sociales por adaptación climática para puentes (BSAC-P)

En puentes, los beneficios sociales por adaptación se componen de: BCC (Beneficio por Continuidad de Conectividad), que monetiza cierres evitados mediante volúmenes de tránsito, matrices O/D, tiempos de desvío, valor del tiempo y costos operacionales, a partir de la probabilidad y duración de cierres bajo SSP2-4.5/SSP5-8.5 y parámetros de diseño (socavación, cotas, caudales pico, IDF ajustadas); BRV (Beneficio por Redundancia Vial), que valora la resiliencia de red de otras rutas que tomarían como alternativa la sección en cuestión, usando topología y capacidad de la red, índices de criticidad y fiabilidad, elasticidades de demanda y niveles de servicio en desvíos; BRT (Beneficio por Reducción de Tiempo de Recuperación), que captura horas/días de inoperatividad evitados (objetivo 24–72 h en enlaces críticos) según el tiempo medio de reparación base vs con medidas, valorizadas con valor del servicio/tiempo y costos logísticos; CAA (Costo Adicional de Adaptación), que refleja el CAPEX/OPEX incremental de soluciones resilientes (dimensionamiento estructural, defensas, drenajes, monitoreo/alertas) según calendario de inversiones y reposiciones; y $r_{ajustada}$ (tasa de descuento ajustada por riesgo climático), que incorpora una prima por severidad del escenario, consistente con lineamientos del SNI.

Los valores presentados en la tabla son parámetros de referencia internacionales. Su uso directo es válido como punto de partida en proyectos piloto; sin embargo, para su aplicación sistemática en el SNI deben ser ajustados a las condiciones locales del proyecto y acordados formalmente por el MOP y MDSF. Las fuentes primarias citadas documentan el procedimiento de estimación de cada parámetro y pueden consultarse para orientar ese proceso de calibración.

Tabla 3-3.7: Componentes de Beneficios Sociales Propuestos para Puentes. Fuente: Elaboración propia, 2025.

Fórmula BCC	$\frac{\text{Días_interrupción_evitados}}{\text{Factor_escenario}} \times \text{Flujo_vehicular_diario} \times \text{Valor_tiempo_promedio} \times$		
Parámetros	Escenario 4.5	Escenario 8.5	Fuente
Factor por escenario	1.5	3.0	NCHRP, (2014)
Días de interrupción base	2-5 días/año	5-12 días/año	Infrastructure Canada (2021); DOT (2021)
Valor de tiempo promedio	\$15-25 USD/hora	\$15-25 USD/hora	US DOT, (2023)
Fórmula BRT	$\text{Tiempo_recuperación_reducido} \times \text{Costo_económico_interrupción} \times \text{Frecuencia_eventos}$		
Parámetros	Escenario 4.5	Escenario 8.5	Fuente

Tiempo de recuperación reducido	24-48 horas	48-72 horas	Cabinet Office (2021); Emergency Management Australia (2021)
Costo económico de interrupción	\$50,000-200,000/día	\$100,000-500,000/día	Infrastructure Australia (2021)
Frecuencia de eventos	1:10 años	1:5 años	TANDF, (2019)
Fórmula BRV	$\text{Días_interrupción_evitados} \times \text{Flujo_vehicular_diario (de ruta a la que dá redundancia)} \times \text{Valor_tiempo_promedio} \times \text{Factor_escenario}$		
Parámetros	Escenario 4.5	Escenario 8.5	Fuente
Factor por escenario	1.5	3.0	NCHRP, (2014)
Días de interrupción base	2-5 días/año	5-12 días/año	Infrastructure Canada (2021); DOT (2021)
Valor de tiempo promedio	\$15-25 USD/hora	\$15-25 USD/hora	US DOT, (2023)

Beneficios sociales por adaptación climática para protección costera (BSAC-PC)

En protección costera, los beneficios sociales por adaptación se estructuran en los siguientes componentes:

- **BPA — Beneficio por Protección de Activos:** Estima el Daño Anual Esperado evitado sobre infraestructura y edificaciones expuestas a marejadas/erosión, con base en mapas de amenaza, valores de reposición, curvas de daño por tipología y períodos de retorno ajustados por escenario (SSP2-4.5/SSP5-8.5). Ver fórmula y parámetros en Tabla 3-3.8.
- **BTM — Beneficio por Turismo Mantenido:** Valora los ingresos preservados por días de operación no perdidos, usando flujos turísticos base, estacionalidad, gasto promedio y días de cierre evitados. Se debe evitar duplicar con la continuidad económica ya capturada en otros componentes. Ver fórmula y parámetros en Tabla 3-3.8.
- **BCC — Beneficio por Continuidad de Conectividad:** Monetiza las horas de interrupción evitadas en rutas y puertos, mediante volúmenes de tránsito, tiempos de desvío, valor del tiempo y costos operacionales, a partir de la probabilidad y duración de cierres por escenario. Ver fórmula y parámetros en Tabla 3-3.8.
- **CAA — Costo Adicional de Adaptación:** Refleja el CAPEX/OPEX incremental de las medidas resilientes (obras grises y/o SbN) respecto del diseño estándar, considerando el calendario de inversiones y reposiciones. Ver fórmula y parámetros en Tabla 3-3.8.
- **r_ajustada — Tasa de descuento ajustada por riesgo:** Incorpora una prima por riesgo climático según la severidad del escenario, diferenciando entre SSP2-4.5 (3–4%) y SSP5-8.5 (2–3%). Ver Tabla 3-3.3.

Los valores presentados en la tabla son parámetros de referencia internacionales. Su uso directo es válido como punto de partida en proyectos piloto; sin embargo, para su aplicación

sistemática en el SNI deben ser ajustados a las condiciones locales del proyecto y acordados formalmente por el MOP y MDSF. Las fuentes primarias citadas documentan el procedimiento de estimación de cada parámetro y pueden consultarse para orientar ese proceso de calibración.

Tabla 3-3.8: Componentes de Beneficios Sociales Propuestos para Protección Costera. Fuente: Elaboración propia, 2025.

Fórmula BPA	$\text{Metros_lineales_protegidos} \times \text{Valor_activos_promedio} \times \text{Probabilidad_daño_evitada} \times \text{Factor_SLR}$		
Parámetros	Escenario 4.5	Escenario 8.5	Fuente
Factor de SLR	1.3 (30-60cm)	2.0 (60-120cm)	NOAA (2021); Met Office (2020)
Valor de protección	\$10K-50K/m/año	\$25K-100K/m/año	FEMA (2020); Infrastructure Australia (2021)
Probabilidad de daño base	1:100 años	1:50 años	FEMA, (2023)
Fórmula BTM	$\text{Metros_playa_conservados} \times \text{Valor_turístico_unitario} \times \text{Factor_atractivo} \times \text{Estacionalidad}$		
Parámetros	Escenario 4.5	Escenario 8.5	Fuente
Valor turístico unitario	\$500-2,000/m/año	\$1,000-5,000/m/año	ONS (2021); Treasury (2021)
Factor atractivo	0.9	0.7	MDPI, (2020)
Estacionalidad	1.0	0.8	IPCC ARC6, (2021)
Fórmula BCC	$\text{Días_interrupción_evitados} \times \text{Flujo_vehicular_diario} \times \text{Valor_tiempo_promedio} \times \text{Factor_escenario}$		
Parámetros	Escenario 4.5	Escenario 8.5	Fuente
Factor por escenario	1.5	3.0	NCHRP, (2014)
Días de interrupción base	2-5 días/año	5-12 días/año	Infrastructure Canada (2021); DOT (2021)
Valor de tiempo promedio	\$15-25 USD/hora	\$15-25 USD/hora	US DOT, (2023)

Nota sobre estatus y calibración de parámetros

Los valores presentados tienen distinto nivel de transferibilidad al contexto chileno. Para su ajuste local se recomienda:

- **Factor de SLR** (1.3 / 2.0): contrastar con proyecciones de nivel del mar de ARCLim (plataforma MMA-SHOA) y datos históricos de la red de mareógrafos de la SHOA para el tramo costero del proyecto;
- **Valor de protección** (USD 10K–100K/m/año): requiere calibración obligatoria con valores de reposición de activos costeros nacionales; los valores FEMA e Infrastructure Australia responden a contextos de muy distinto valor de suelo;
- **Probabilidad de daño base** (1:100 / 1:50 años): contrastar con los períodos de retorno de marejadas disponibles en DOP para la zona específica del proyecto;
- **Valor turístico unitario** (BTM): requiere ajuste con datos de flujos turísticos y gasto

promedio del SERNATUR para el destino específico;

- **Factor de escenario y días de interrupción base (BCC):** los valores NCHRP e Infrastructure Canada son aplicables directamente como referencia inicial, sujetos a ajuste con aforos locales. Las fuentes primarias (NOAA, FEMA, Infrastructure Australia, ONS, NCHRP) describen sus procedimientos de estimación y pueden consultarse para orientar la calibración local.

Costos adicionales por adaptación climática estimados

La integración del cambio climático en el diseño de infraestructura pública genera incrementos de costos significativos que varían según la tipología del proyecto y el escenario climático considerado. Los rangos presentados son una estimación inicial aplicable de manera general, sin embargo se insta a refinarlos conforme se evalúen los costos incrementales estimados propios de cada proyecto, comparando proyectos similares con y sin adaptación climática, lo que puede mejorar la precisión de los rangos referenciales propuestos.

Para el **control aluvional**, los costos adicionales pueden oscilar entre 12-20% bajo el escenario SSP2-4.5 y se elevan hasta 20-35% en el escenario más severo SSP5-8.5. Estos incrementos responden principalmente al aumento en la capacidad de diseño necesaria para eventos extremos de precipitación, el refuerzo de estructuras de retención y disipación, la ampliación de sistemas de drenaje y evacuación, y la utilización de materiales resistentes a mayor erosión y sedimentación. La diferencia sustancial entre ambos escenarios refleja la intensificación proyectada de eventos hidrológicos extremos en condiciones de mayor forzamiento radiativo.

En el **caso de puentes**, los incrementos son moderados en comparación con otras tipologías, variando entre 8-15% para SSP2-4.5 y 15-25% para SSP5-8.5. Los costos adicionales se concentran en el rediseño de cimientos considerando mayor socavación fluvial, el aumento del galibo hidráulico para acomodar crecidas extremas más frecuentes e intensas, el refuerzo estructural ante eventos de carga dinámica, y la incorporación de sistemas de monitoreo y alerta temprana.

Por su parte, la **protección costera** presenta los incrementos más elevados, entre 15-25% en SSP2-4.5 y 25-40% en SSP5-8.5, reflejando la complejidad de adaptarse al aumento del nivel del mar y la intensificación del oleaje. Estos mayores costos incluyen la elevación de estructuras según proyecciones de ascenso marino, el refuerzo ante oleaje más intenso y frecuente, la ampliación de zonas de amortiguamiento para protección natural, y el desarrollo de sistemas de drenaje costero mejorados que permitan manejar la combinación de mareas extremas, oleaje y precipitaciones intensas.

Tabla 3-3.9: Costos Adicionales por Adaptación Climática Estimados. Fuente: Elaboración propia, 2025.

Tipología	SSP2-4.5	SSP5-8.5	Fuente
Control aluvional	12-20%	20-35%	IPCC AR6, 2021; World Bank, 2024
Puentes	8-15%	15-25%	AASHTO, 2024; FHWA, 2020
Protección costera	15-25%	25-40%	IPCC AR6, 2021; EurOtop, 2018

Beneficios sociales por mitigación climática

Es importante destacar que la herramienta propuesta se alinea más estrechamente con los beneficios derivados de la adaptación climática. Sin embargo, en el marco lógico de integración, como se ilustra en la imagen 4.1, se observa una línea de implementación enfocada en la mitigación del cambio climático. Esta línea no solo aporta beneficios climáticos, sino también ventajas sociales que pueden ser integradas y evaluadas en futuras fases de las adecuaciones al SNI.

¿Qué se entiende por beneficios sociales de mitigación?

Son los beneficios netos que la sociedad obtiene al reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en comparación con un escenario sin proyecto. Estos se miden de la siguiente manera:

- **Emisiones evitadas o eliminadas:** Cantidad de tCO₂e (toneladas de dióxido de carbono equivalente) a lo largo del ciclo de vida del activo (construcción, operación, mantenimiento y disposición final).
- **Valoración económica:** Estimación de su valor monetario a través del precio o costo social del carbono, incluyendo, cuando corresponda, los co-beneficios locales.

¿Cuáles son algunos posibles beneficios identificados?

Para cada una de las tipologías de proyectos se proporciona un ejemplo:

- **Beneficio por Cambio Modal:** Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) al migrar usuarios de modos de transporte con alta huella de carbono (ej. automóvil) a opciones más sostenibles (ej. transporte público, no motorizado, eléctrico).
- **Beneficio por Carbono Almacenado:** Captura y almacenamiento de carbono en biomasa y suelos en proyectos basados en soluciones naturales (SbN) o gestión forestal y de suelos (ej. reforestación de riberas, restauración de cuencas).
- **Beneficio por Carbono Azul:** Remoción y almacenamiento de carbono en ecosistemas marino-costeros (manglares, marismas, praderas de pastos marinos, humedales y dunas vegetadas), comúnmente vinculados a proyectos de protección y restauración costera.

3-3.3. Desarrollo de la herramienta

La herramienta busca calcular los beneficios por DAE evitado, continuidad y desempeño operativo, bajo los escenarios climáticos SSP2-4.5 y SSP5-8.5, incorporando los indicadores potenciales de la [Sección 3-3.2](#). Como parte del flujo de la herramienta se cuentan con árboles de decisión para orientar el uso de los beneficios a utilizar, a grandes rasgos se dividen en directos mediante el objeto de diseño e indirectos que se relacionan al contexto espacial.

Esta herramienta busca la valorización de beneficios sociales por adaptación climática, se implementa como un libro de Excel que consolida el trabajo metodológico y operativo del proyecto, alineado con el plan de trabajo establecido. En esta primera versión incluye las pestañas “Manual”, “Protección costera”, “Puentes”, “Control aluvional” y “Datos base”, el contenido de cada una de ellas se detalla a continuación (Figura 3-3.7).

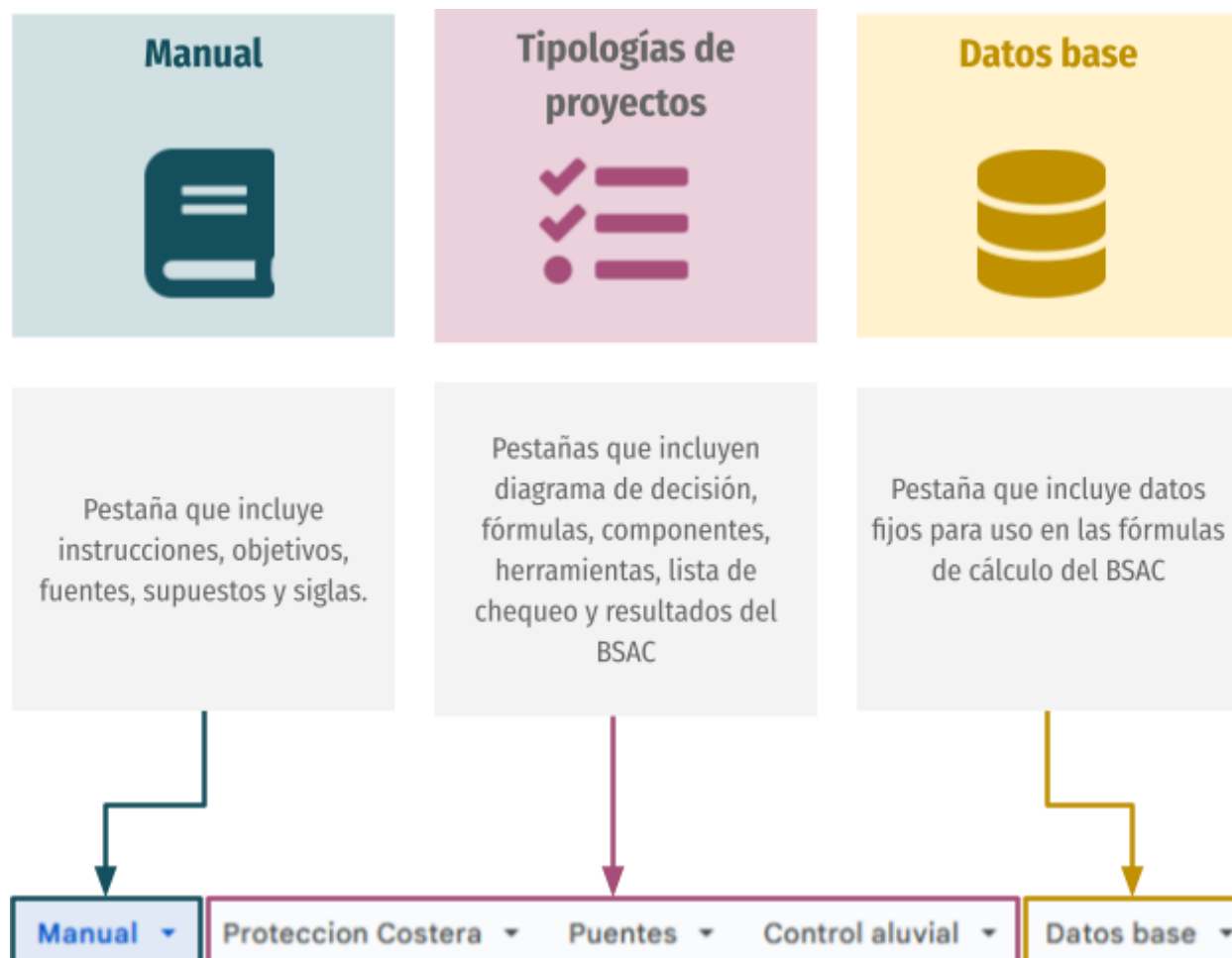


Figura 3-3.7: Contenido de Herramienta BSAC. Fuente: Elaboración propia, 2025.

Árbol de decisión control aluvional

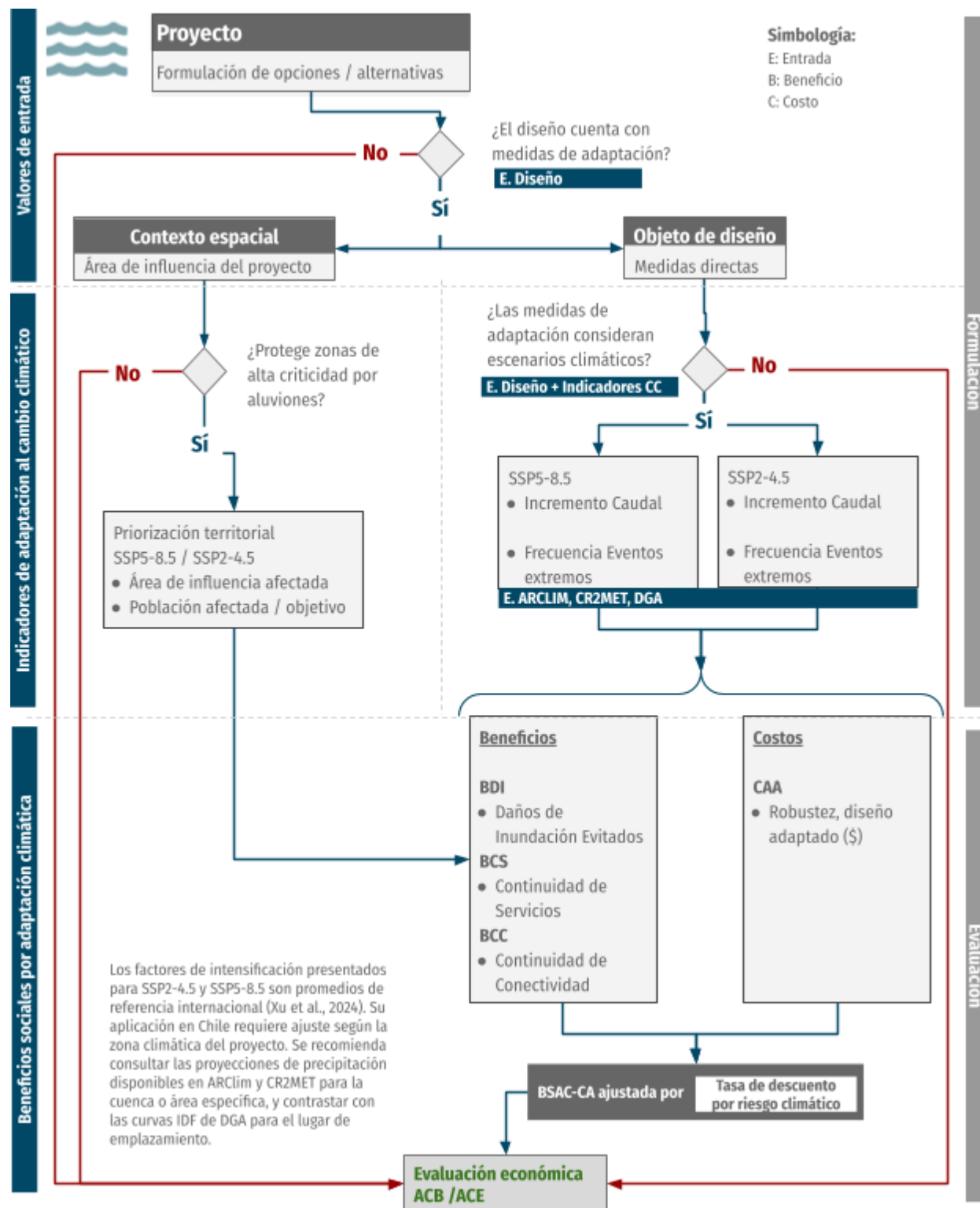


Figura 3-3.8: Árbol de Decisión Control Aluvional. Fuente: Elaboración propia, 2025.

Árbol de decisión puentes

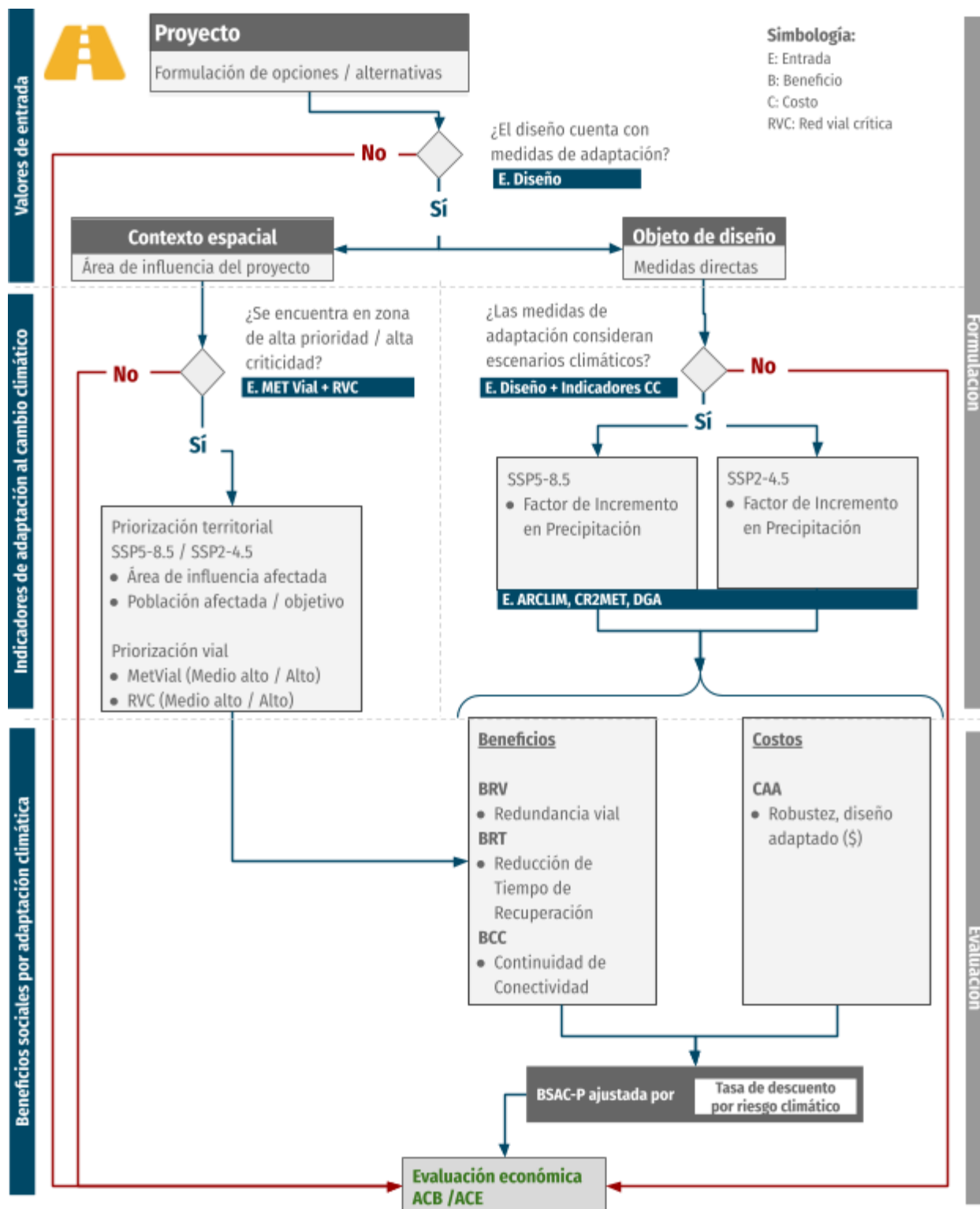


Figura 3-3.9: Árbol de Decisión Puentes. Fuente: Elaboración propia, 2025.

Árbol de decisión protección costera

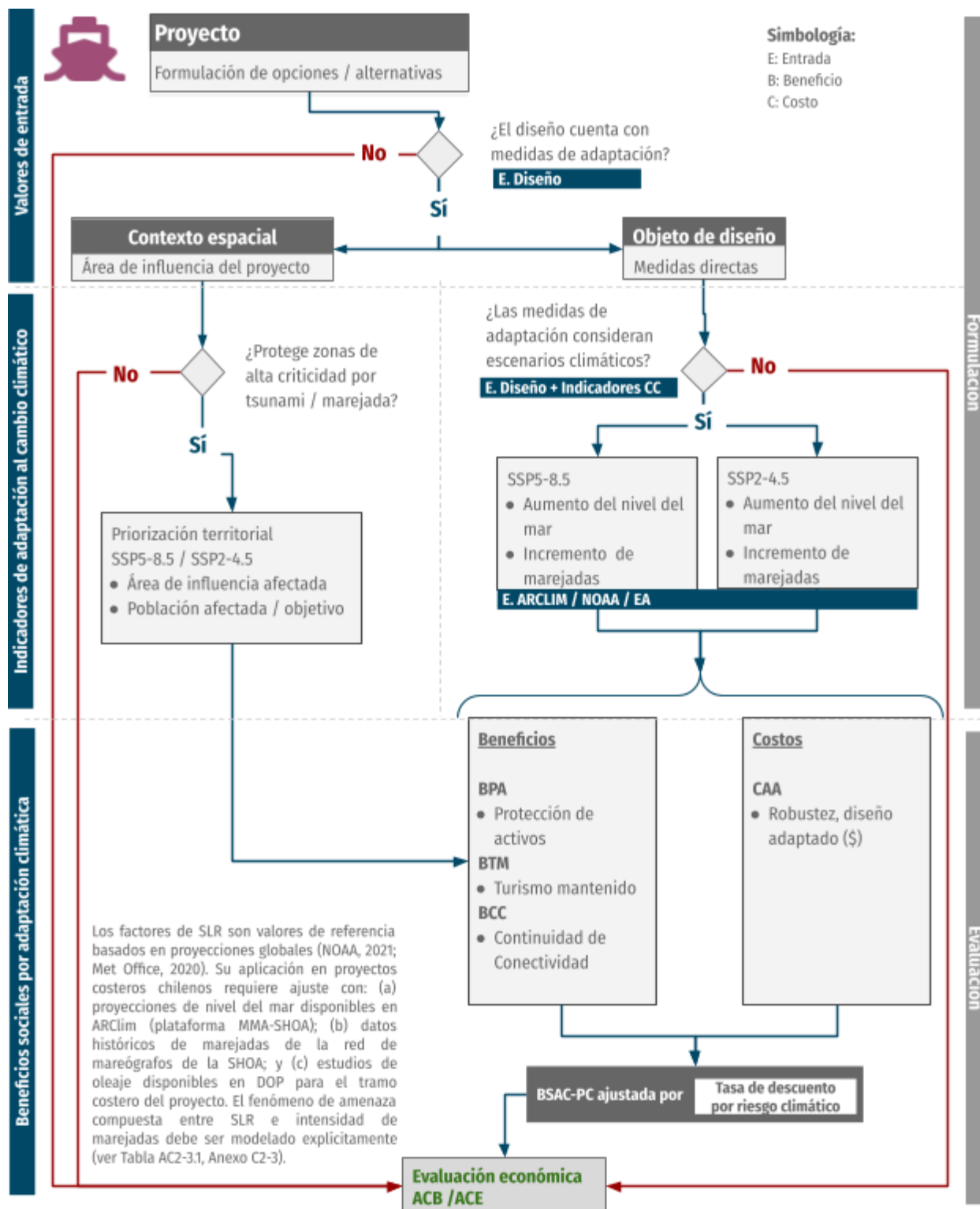


Figura 3-3.10: Árbol de Decisión Protección Costera. Fuente: Elaboración propia, 2025.

Nota

Alta criticidad se define como la condición de un proyecto cuya interrupción afecta a población en situación de vulnerabilidad, redes de conectividad sin rutas alternativas, o servicios básicos (agua, salud, educación) sin respaldo operativo. Para su clasificación, se recomienda considerar: (a) mapas de peligro de SENAPRED o SERNAGEOMIN para la amenaza identificada; (b) umbral de población directamente afectada definido por la contraparte técnica sectorial (DOH); y (c) criterios del Índice de Riesgo de Desastres (IRD) cuando esté disponible para la zona del proyecto.

Paso a paso

1. Revisar el manual:

La pestaña “manual” detalla las instrucciones, objetivos, fuentes, supuestos y acrónimos utilizados en la herramienta.

2. Selección de la tipología:

Según la tipología del proyecto al que se desea calcular los beneficios por adaptación climática se elige la pestaña asociada a puentes, control aluvional o protección costera.

3. Verificar el árbol de decisión:

Cada tipología tiene asociada un árbol de decisión que ayuda a entender los posibles beneficios y costos asociados a la adaptación climática.

4. Revisar las herramientas necesarias:

Para cada tipología se recomiendan herramientas de utilidad para obtener datos necesarios para la evaluación, consideraciones climáticas de diseño según el escenario, priorización regional y criticidad de la red, etc.

5. Revisar la lista de chequeo:

Se incluyen preguntas y recomendaciones de importancia para la toma de decisiones de los beneficios y costos a considerar.

6. Ingresar los datos solicitados:

Para el cálculo de los costos y beneficios se deben ingresar algunos datos específicos del proyecto en cuestión, los cuales responden al diseño o a valores que están entre los rangos propuestos.

7. Obtener resultados:

Una vez que se adjuntan los valores de entrada la herramienta calcula automáticamente los beneficios sociales por adaptación climática, los cuales se pueden agregar a la evaluación tradicional del proyecto.

Consideraciones adicionales

- La herramienta se plantea como una estructura inicial que permite sistematizar la integración del cambio climático en la evaluación de tres tipologías de proyectos.
- Los valores utilizados se basan en la revisión de casos internacionales, por lo tanto son parámetros gruesos que sirven como referencia y que deberán ser ajustados y calibrados en el futuro por parte del MOP y MDSF.
- La disponibilidad de datos a nivel nacional, regional, y local es una condición esencial en la definición de los parámetros a utilizar.

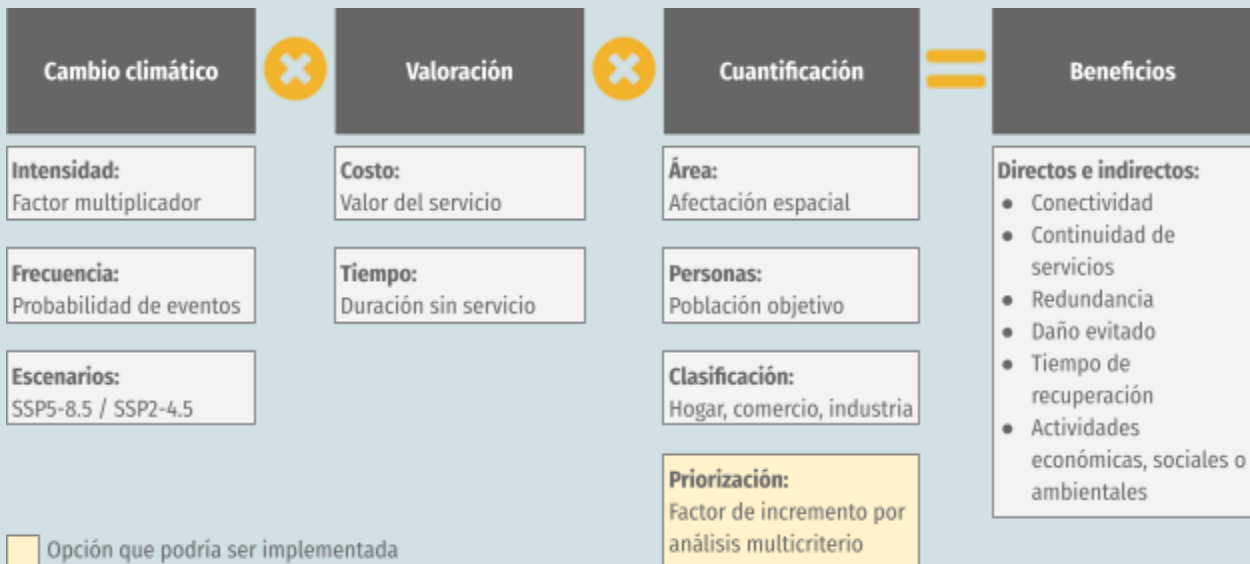
Síntesis: Mapa de integración climática del SNI

En relación al análisis de las metodologías de evaluación social existentes y la herramienta propuesta, esta se plantea como un módulo complementario a las metodologías de evaluación vigentes. Principalmente aporta en los siguientes aspectos: Traduce escenarios climáticos en parámetros; Monetiza beneficios sociales adicionales; Propone ajustes en parámetros económicos tradicionales; Incluye sobrecostos de adaptación referenciales.

La propuesta de módulo adicional y su acople con otras metodologías se resumen en el siguiente diagrama:



La herramienta se centra en la evaluación de la infraestructura resiliente. Con esta consideración el siguiente diagrama resume la lógica y conexión de los beneficios asociados a la adaptación al cambio climático.





Capítulo 4.

Aplicación de Herramienta

4. Aplicación de Herramienta

4-1. Taller participativo de revisión

Se desarrolló un taller participativo de revisión participativo en formato híbrido, incluyendo funcionarios presenciales y otros en línea, con aproximadamente 50 profesionales del MOP y servicios públicos colaboradores (Medio Ambiente, Vivienda, Desarrollo Social, entre otros) para presentar y validar los resultados de la consultoría. El taller incluyó presentaciones técnicas sobre las Fases 1 (Diagnóstico) y Fase 2 (Diseño metodológico y herramienta de adaptación climática), seguidas de sesiones plenarias de preguntas y respuestas, y trabajo grupal por sectores para análisis detallado de la herramienta en relación a las tres tipologías de proyectos de infraestructura consideradas. Se utilizaron formularios estructurados con preguntas y facilitadores por mesa de trabajo para capturar observaciones, ajustes y recomendaciones. El resultado del proceso es la sistematización con retroalimentación técnica recibida categorizada por tipología e institución para incorporar en los ajustes a la herramienta presentada. Mayor información en el [Anexo 4-1](#).

4-1.1. Descripción del desarrollo del taller

MODULO I: Presentación general

Se explicó el objetivo del taller, el que busca validar y recibir retroalimentación sobre la herramienta de adaptación climática desarrollada para integrar el cambio climático en la evaluación social de proyectos del MOP. Además se recordó la estructura del estudio:

- **Fase 1:** Diagnóstico y levantamiento de información
- **Fase 2:** Diseño metodológico de la herramienta
- **Fase 3:** Validación y ajuste (foco actual del taller)
- **Fase 4:** Inclusión del PSC (mitigación)

La propuesta se centra en tres tipologías de proyectos: infraestructura vial (puentes), hidráulica (control aluvional) y portuaria (borde costero). La herramienta de adaptación consiste en un módulo complementario a la metodología vigente de evaluación social. Para esto, se utiliza un árbol de decisión para determinar si el proyecto tiene medidas de adaptación o no. Así, se permite contabilizar costos adicionales y beneficios adicionales, de forma de mejorar el VAN social de proyectos adaptados.

Mediante el diagnóstico realizado y la revisión de prácticas internacionales (incluyendo: Países Bajos, Reino Unido, EE. UU., Australia y Canadá), se identificaron tendencias comunes como el uso de múltiples escenarios climáticos, horizontes de evaluación extendidos (50-100 años) y factores de intensificación para eventos extremos. Con esta base de información, se proponen ajustes específicos para este módulo complementario:

- **Horizonte de evaluación ampliado:** Se sugiere ampliar el horizonte de evaluación y mediante el valor residual capturar los beneficios a largo plazo de obras diseñadas para durar más.
- **Tasa de descuento ajustada:** Se propone una tasa de descuento ajustada (menor a la estándar del 5,5% o 6%) para reflejar el largo plazo y la equidad intergeneracional, diferenciada por escenario climático (menor tasa para escenarios más severos/largo plazo).
- **Fase de preinversión:** Se propone que el momento ideal para aplicar esta herramienta es durante la fase de preinversión, que incluye las etapas de perfil, prefactibilidad, y prefactibilidad, cuando exista información suficiente para comparar alternativas y sea posible influir en el diseño.

Preguntas y comentarios generales

Fase de preinversión

Se señaló que la herramienta está pensada para ser usada en un concepto amplio de preinversión. Esto posibilita su uso en proyectos del MOP que no pasan por prefactibilidad. Es necesario contar con una cantidad de información mínima para aplicarla, lo que posibilita su aplicación temprana.

VAN por adaptación climática

Se llamó la atención sobre el valor del VAN propuesto complementario, donde se separa y descuenta una tasa climática complementaria en relación a los deltas de la adaptación climática (costos y beneficios adicionales que conlleva este desafío).

Tipos de proyectos

Se señaló la necesidad de distinguir entre dos tipos de proyectos: (i) adaptación directa (proyectos cuya finalidad es la adaptación climática, donde se deberían descontar todos los flujos del proyecto) y; (ii) adaptación indirecta (proyecto que integran estudios climáticos que informan medidas de adaptación, en donde se debería revisar el descuento).

Ampliación de la vida útil

Se plantea la idea de que no necesariamente el proyecto va a cambiar su vida útil, lo que podría ocurrir es que el proyecto se deteriore antes. Sin embargo, la investigación internacional apunta a considerar una vida útil más extendida en el diseño de la infraestructura resiliente, considerando escenarios climáticos de largo plazo.

Tasa de descuento

Se señala la complejidad de plantear una tasa de descuento asociada al cambio climático, y se reconoce la necesidad existente de estimarla. Esto se denomina una tasa intergeneracional y debería integrarse dependiendo de los tipos de proyectos y sus consideraciones de diseño específicas en relación al clima y resiliencia.

MÓDULO II: Presentación de la herramienta

Se presentó la herramienta propuesta, como un módulo adicional, que incorpora el cambio climático, y que permite valorizar los costos y beneficios adicionales de la adaptación.

Estructura de la herramienta

- La presentación se centró en la validación y ajuste de la herramienta, diseñada en formato Excel, para integrar la adaptación climática en la evaluación social de proyectos.
- La herramienta consta de varias pestañas que incluyen un manual de instrucciones, abreviaturas, datos para fórmulas y pestañas específicas para las tipologías de obras a evaluar.
- La herramienta utiliza celdas de colores específicos (ej. celestes) para la entrada de datos y alerta con color rojo si los valores están fuera de los rangos recomendados, aunque permite justificarlos.

Metodología y árbol de decisión

- La evaluación inicia con un árbol de decisión que plantea la pregunta si el diseño cuenta con medidas de adaptación climática o no.
- Si no tiene medidas, se procede con la evaluación tradicional (costo-beneficio o costo-eficiencia).
- Si tiene medidas, se evalúa tanto el objeto de diseño (infraestructura) como el contexto espacial (área de influencia).
- Se consideran dos escenarios climáticos (moderado y severo) y se señala la necesidad de integrar información con respecto a las zonas con una alta exposición a riesgos, por ejemplo utilizando herramientas como el "Visor Chile Preparado".

Cálculo de Beneficios y Costos

- Se consideran factores multiplicadores para dar cuenta del aumento en la intensidad y la frecuencia (probabilidad) de los eventos climáticos.
- Para aplicar la herramienta es necesario identificar el área afectada, la cual podría variar según la severidad del escenario (menor área en escenario moderado, mayor en severo, por ejemplo para la protección del borde costero).
- Se destaca que la adaptación implica costos adicionales para diseños más robustos, y que se genera además beneficios adicionales como la continuidad de conectividad, servicios, redundancia y reducción de tiempos de recuperación.

Validación de la herramienta en tres proyectos MOP

Dirección Vialidad	Portuaria	Hidráulica
Reposición del Puente Los Vientos (considera crecidas)	Defensas costeras en Av. Perú y Juan Saavedra	Control aluvional quebrada Bonilla (considera manejo de

fluviales y alternativas de diseño).	(considera marejadas y aumento del nivel del mar)	cuenca y sistema de alerta temprana).
Herramienta Puentes	Herramienta Protección de borde costero	Herramienta Control aluvional
Se enfoca en beneficios por continuidad de conectividad, reducción de tiempo de recuperación (limpieza / mantenimiento tras evento extremo) y redundancia vial (beneficio de rutas alternativas).	Incluye beneficios por turismo mantenido, continuidad de conectividad y protección de activos (metros lineales protegidos).	Considera beneficios por daños de inundación evitados (basado en hectáreas afectadas), continuidad de conectividad vial y continuidad de servicios (agua potable, electricidad). Utiliza datos de áreas de inundación (con y sin proyecto) y flujos vehiculares.

Análisis de sensibilidad

- Se presentó un análisis de sensibilidad que muestra cómo varía el VAN con respecto a los beneficios adicionales, tasas de descuento menores, y horizontes de evaluación más largos. El resultado es VAN positivo para los tres proyectos en todos los escenarios evaluados.
- El cálculo final integra los beneficios menos los costos de inversión inicial, adaptación, operación y mantenimiento.

Preguntas y comentarios generales

Vialidad y tiempos de viaje

Se clarificó que el valor social de la reducción de tiempo de viaje por vehículo utilizado por el MDSF, no considera las mismas variables que los utilizados en la construcción de los indicadores para valorizar los beneficios de la adaptación, incluyendo beneficios por reducción de tiempo de recuperación, beneficio por redundancia vial, y beneficio por continuidad de conectividad. Por este motivo se utilizó una referencia internacional.

Áreas de riesgo

Se planteó que el visor de Chile Preparado es limitado y no considera aluviones. Se discute que esta carencia revela que es necesario avanzar en el cierre de brechas para proveer de fuentes secundarias que permitan la definición de las áreas de afectación por amenazas y que estén validadas institucionalmente. Esta información contribuye a definir zonas de alta criticidad o alta exposición a amenazas.

Alineamiento nivel nacional y regional

Se abordó la necesidad de estar alineados, a nivel nacional y regional, en los criterios

metodológicos que se utilizan para la presentación y evaluación de proyectos.

Costos y beneficios de la adaptación

Se planteó la inquietud de que el costo por adaptación al cambio climático sea mayor a los beneficios que se pueden captar. La aplicación de la herramienta demuestra que en los tres casos es posible obtener un VAN positivo, en donde los beneficios superan los costos del proyecto.

MÓDULO III: Mesas de trabajo

Se dividió a los asistentes en 4 mesas de trabajo: SNI/MDSF, DOH (control aluvional) y Vialidad se realizaron de forma presencial; mientras que MINVU/DOP se realizó de forma virtual. En base a una pauta, que guió la conversación, levantando la siguiente información:

1. Enfoque e Integración

Evaluación Social (MDSF/SNI)	Es viable. La estructura metodológica actual permite módulos adicionales. En caso de integrarse, debería ser como un módulo metodológico que especifique claramente sus alcances (qué sectores y tipos de proyectos aplica, y en qué etapa del ciclo de vida del proyecto debe usarse). Se plantea la idea de conectar la infraestructura resiliente con marcadores climáticos DIPRES.
Control Aluvional (DOH)	Idealmente debe aplicarse en fase de preinversión, ya que en una fase posterior el costo sería mayor. En el caso de proyectos de control aluvional, debido a la naturaleza de los mismos, idealmente debe ser en fase de factibilidad, adicionalmente se propone su integración en diseño.
Mesa Vialidad (Presencial / DV)	Prefactibilidad / Factibilidad. "Perfil" es muy temprano, "Factibilidad" puede tener demasiados datos. La herramienta está orientada a preinversión, donde se realiza el análisis de alternativas para verificar cuál genera mayores beneficios.
Borde Costero y MINVU (Online)	La metodología debería poder ser usada con facilidad por los otros ministerios (ej MINVU que parten de diseño por tiempos y recursos). Al postular la iniciativa al MDSF ya deben tener una idea de costos, beneficios por lo que en etapas tempranas es difícil por la cantidad de información, pero para el diseño ya deben tener antecedentes para usar la planilla. Hay carencias de datos en etapas iniciales.

2. Herramientas y Horizonte

Evaluación Social (MDSF/SNI)	Descalce. Difícil alinear horizonte (20 años) con vida útil resiliente (75 años). Valor residual absorbe lo restante. Ajustar la TSD y el Valor Residual son dos acciones que apuntan en la misma dirección.
Control	Se usan ARClím y modelos del CR2. Se proponen adicionalmente

Aluvional (DOH)	modelos sugeridos por MMA o desarrollados por academia (PUC).
Mesa Vialidad (Presencial / DV)	MET Vial y Red Vial Crítica; Modelo HDM-4
Borde Costero y MINVU (Online)	Levantamiento de información in situ. Se utiliza ARClím y CR2. ARClím escala regional. Los IPT están desactualizados. Las áreas de riesgo "históricas" son útiles pero riesgosas por la incertidumbre. Las modelaciones climáticas se usan para informar el diseño.

3. Fuentes de Información

Evaluación Social (MDSF/SNI)	Es necesario cuantificar más beneficios relacionados con la resiliencia. Es importante cuantificar el daño evitado. Se debe evitar el doble conteo al medir beneficios que pueden estar relacionados.
Control Aluvional (DOH)	Post-evento se levantan daños tras inundación. Se utilizan noticias regionales y el Censo pero se reconoce que es impreciso. Se les recomienda utilizar otras herramientas como WorldPop.org . También existe coincidencia por lo expresado por Borde Costero y MINVU.
Mesa Vialidad (Presencial / DV)	Aforo y Tiempo. El principal dato es Aforo Vehicular y Tiempo de Viaje. Los proyectos que pasan a la excepcionalidad usan conceptos como integración nacional, niveles de pobreza en algunas comunas.
Borde Costero y MINVU (Online)	Censo de vivienda a nivel de manzana. Calles, viviendas, negocios, centros educativos, salud, dependiendo de la intensidad del evento (nivel de inundación) puede ser pérdida total o parcial (todos con y sin evento), cambio en la valoración de suelo en el mercado, empleo, bomberos. Cuando ya ha habido un evento hay información, pero hacerlo de manera preventiva es mucho más complicado.

4. Adecuación de Beneficios

Evaluación Social (MDSF/SNI)	La definición del área afectada es un factor clave y se reconoce que no existe una fuente de información única y clara para todas las amenazas. Las modelaciones del SHOA (Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile) y los Planes de Gestión de Riesgo de Desastre Comunes se mencionan como posibles fuentes, aunque estos últimos tienen el problema de ser a menudo discrecionales y no estar totalmente actualizados con amenazas climáticas. Visor Chile Preparado es útil pero incompleto (no tiene todas las amenazas).
Control Aluvional (DOH)	Existen beneficios directos, como daño evitado, y beneficios indirectos, al evitar las pérdidas por desastre (por ejemplo, cuando se impide ir a

	trabajar, o a estudiar). Idealmente, la metodología tendría una lista completa de beneficios indirectos para poder hacer una selección y estimación más precisa. Otro tema relevante, es que no existe la valoración de la vida humana, esto debido a que es un tema muy controversial, a pesar de que en varios países si se hace una valoración monetaria.
Mesa Vialidad (Presencial / DV)	No hay conocimiento específico vinculado a herramientas disponibles para integrar el cambio climático. Regresividad y Redes: La evaluación actual es regresiva (premia zonas con más autos). Faltan beneficios en salud/agro (rural) y redundancia de red ante cortes. Avanzar en el concepto de resiliencia como elemento que tiene más efectos directos. La interrupción de servicio, cuando no hay redundancia de la red debería ser incorporada dentro de la evaluación. También el costo por pérdida de conectividad. También la vulnerabilidad territorial y cómo queda aislada la población. Esto se va viendo caso a caso, pero hay elementos que son reiterados.
Borde Costero y MINVU (Online)	Evitar cambios en el mercado del suelo, valor social de la vida, áreas recreativas pérdidas, daño ambiental evitado, albergues, recargo en el sistema de salud, daño evitado de lagunas industriales - aguas de tratamiento, actividades económicas de negocios que cierran. Hay beneficios que están subvalorados. La discusión puede ir al valor asociado que se le dan a los beneficios identificados, ejemplo, si se cumplen con ciertas condiciones se aplican beneficios específicos. Con esto se ahorra tiempo en ida y cuenta para aprobar proyectos. Aplicarlos en la evaluación puede ser subjetivo y discrecional a cada evaluador.

5. Costos Adicionales

Evaluación Social (MDSF/SNI)	Si, no hay ejemplos específicos.
Control Aluvional (DOH)	Existe mucha incertidumbre debido al desconocimiento certero del efecto del CC en la infraestructura y en el territorio. Especialmente complejo en un país como Chile, donde existe tanta variabilidad climática de norte a sur y de este a oeste. Por eso las obras aluvionales dependen de la localización, por lo que deben ser "personalizadas". Se propone que se incluya en el modelo un factor territorial para considerar los efectos del CC en distintas partes del país.

Mesa Vialidad (Presencial / DV)	Rentabilidad. Mayor robustez eleva costos y dificulta obtener la rentabilidad positiva. El costo de adaptación puede superar a los beneficios cuantificados actualmente. Cuando hay obras grandes con costos altos, la herramienta podría permitir un enfoque metodológico distinto.
Borde Costero y MINVU (Online)	Singularidad. Los costos cambian por proyecto. Existen datos para viviendas y pavimentos.

6. Valorización y Escenarios (Evaluación Climática)

Evaluación Social (MDSF/SNI)	Sin comentarios. Se señala post taller que los escenarios de cambio climático deben ser aplicados al detalle (paso a paso) indicando fuentes de información de los parámetros.
Control Aluvional (DOH)	Distinguir proyectos de defensa (descontar todos los flujos) vs. otros tipos de proyectos de la DOH (revisar descuento).
Mesa Vialidad (Presencial / DV)	Conforme. Sin comentarios.
Borde Costero y MINVU (Online)	Los parámetros generales de los efectos del CC deberían ser diferentes a nivel nacional, considerando la variabilidad climática para macrozonas (Norte, centro, sur). Dificultad para diseñar para escenario severo por la disponibilidad de recursos, puede que sea mejor usar metodologías preventivas. Al final no utilizar diseños adaptados al CC puede ser más caro pues se deben reponer las estructuras perdidas al no ser resilientes

7. Tasa de Descuento (Evaluación Climática)

Evaluación Social (MDSF/SNI)	Una tasa de descuento decreciente para reflejar los impactos ambientales a largo plazo es un concepto relevante para integrar, aunque se reconoce su complejidad teórica y debe ser evaluada por los economistas expertos.
Control Aluvional (DOH)	Sí. De acuerdo con una tasa diferenciada.
Mesa Vialidad (Presencial / DV)	Dudas sobre aplicar la tasa "dentro" de la herramienta; ven difícil su aplicación.
Borde Costero y MINVU (Online)	Sí. De acuerdo con una tasa diferenciada. También les parece la idea de que al cumplir ciertas condiciones se apliquen ciertos beneficios ya con valores pre establecidos lo que ahorraría tiempo agilizando los proyectos

8. Comentarios (Otros)

Evaluación Social (MDSF/SNI)	Necesidad de realizar consultas específicas sobre compatibilidad de indicadores y fuentes de información por tipo de amenaza (ej. visores, mapas del CNH, modelaciones) para formalizar la nueva metodología.
Control Aluvional (DOH)	Los parámetros internacionales utilizados en la herramienta BSAC deben ser adaptados a la realidad de Chile.
Mesa Vialidad (Presencial / DV)	Pragmatismo. La herramienta debe ser simple. Es relevante definir los tramos de la red con "alta criticidad" para filtrar qué proyectos se analizan. Integrar variables territoriales (MET vial crítica). Mayor integralidad de los criterios a nivel regional.
Borde Costero y MINVU (Online)	Revisar metodología CRIDA. Problema de homologación de criterios (ej. pesca) entre regiones.

4-1.2. Hallazgos principales del taller

A partir del análisis de los datos anteriores, se pueden extraer los principales hallazgos:

1. Existe un consenso general en que la herramienta es viable como un módulo complementario dentro del SNI, pero su momento de aplicación es crítico:

- **Fase de preinversión:** Se valida que la herramienta debe aplicarse en etapas de preinversión. Aplicarla en etapas posteriores (diseño/ejecución) elevaría demasiado los costos de modificación.
- **Filtro de aplicación:** Se sugiere definir criterios de "alta criticidad" para determinar qué proyectos requieren este análisis.

2. La disponibilidad de datos desde fuentes secundarias se identifica como una de las principales barreras para la implementación temprana:

- **Herramientas Climáticas:** Se reconoce el uso de ARClím y CR2, pero se advierte que ARClím es de escala regional y a veces insuficiente para el diseño de obras específicas.
- **Limitaciones de Datos:** Herramientas como el visor "Chile Preparado" son limitadas para ciertas amenazas como aluviones. Los datos censales y planes reguladores suelen estar desactualizados.
- **Incertidumbre:** El uso de áreas de riesgo históricas de inundación es útil pero riesgoso ante la incertidumbre del cambio climático futuro.

3. Se identificaron brechas importantes en cómo se contabilizan los beneficios sociales actualmente:

- **Regresividad:** En algunos casos, cuando sólo se consideran beneficios asociados a ahorro de tiempo de viaje ponderado por flujo vehicular, puede generarse un sesgo hacia tramos con mayor tráfico, por lo que es importante complementar con métricas de vulnerabilidad territorial y daño evitado, en línea con los enfoques ya incorporados en la Metodología de Aguas Lluvias y Defensas Fluviales del SNI.
- **Beneficios adicionales:**
 - Redundancia: Valorar que una ruta o sistema tenga alternativas ante un corte (resiliencia de la red).
 - Sociales: Incorporar beneficios en salud, educación y pérdida de ingresos por interrupción de servicios.
 - Vida Humana: Aunque controversial, se menciona la necesidad de valorizar la protección de la vida
 - Checklist: Se sugiere incorporar beneficios preestablecidos para evaluar proyectos

4. La adaptación climática genera mayor resiliencia, lo que conlleva mayores costos, dificultando la obtención de la rentabilidad social de los proyectos.

- Mayor costo vs. rentabilidad: La infraestructura resiliente es más robusta y cara, lo que dificulta obtener una rentabilidad social positiva bajo los estándares actuales.
- Tasa de descuento: Existe apertura y consenso técnico sobre la necesidad de aplicar una tasa de descuento ajustada (diferenciada) o decreciente para proyectos de adaptación y largo plazo (intergeneracional).
- Vida útil y valor residual: Hay un descalce entre los horizontes de evaluación (ej. 20 años) y la vida útil real de obras resilientes (ej. 75 años). Se sugiere que el valor residual absorba los beneficios futuros.

5. Los parámetros deben ser adaptados a las características climáticas del territorio y ajustados a partir de los proyectos evaluados

- Factor local: Chile presenta una variabilidad extrema. Las soluciones y parámetros no pueden ser uniformes; se requiere un factor territorial o diferenciación por macrozonas (Norte, Centro, Sur).
- Referencias Internacionales: Se advierte que, salvo casos puntuales (EE.UU., Canadá, Australia para cuencas), la importación de parámetros internacionales no es útil debido a la singularidad geográfica de Chile.

Finalmente se concluye la necesidad de:

- Validación de Fuentes: Formalizar qué fuentes de información (SHOA, DGA, etc.) serán consideradas oficiales para evitar discrecionalidad.
- Simplificación: La herramienta debe ser pragmática y simple para facilitar el uso en la formulación y evaluación de proyectos.



4-2. Aplicación

4-2. Aplicación de herramienta e indicadores propuestos a los casos de estudio

Aproximación metodológica

La aproximación metodológica utilizada se basa en una estructura de cálculo que recoge la experiencia de países más avanzados en la materia de evaluación de proyectos de infraestructura resilientes al cambio climático (incluyendo Países Bajos, Reino Unido, EE.UU., Australia, y Canadá - mayores detalles en el Informe N1) para traducir escenarios climáticos en cambios en la frecuencia e intensidad de eventos y, a partir de ello, en beneficios y costos de adaptación valorables. Los factores multiplicadores empleados en los casos aplicados provienen hoy de fuentes secundarias internacionales y, por lo mismo, no pueden presentarse como parámetros oficiales chilenos; sin embargo, el núcleo de la propuesta no es importar esos valores “tal cual”, sino ofrecer un marco metodológico que permita actualizar un sistema de evaluación reconocido como obsoleto frente a un clima cambiante, incorporando parámetros climáticos y valorizando explícitamente los beneficios de la adaptación para fomentar infraestructura resiliente de largo plazo.

En el estado actual, estos factores internacionales se utilizan principalmente en análisis de sensibilidad presentado como referencias de orden de magnitud, mientras que la implementación plena en Chile requiere, tal como se plantea en los informes de estudio, un proceso posterior de calibración con datos y estudios nacionales, manteniendo la lógica metodológica pero ajustando los valores a la realidad local (Figura 4-2.1). Para mayor información ver la [Sección 4-4. Plan de Acción](#).



Figura 4-2.1. Proceso de calibración. Fuente: Elaboración propia, 2025.

Aplicación de la herramienta

Se aplicó la herramienta de adaptación climática (BSAC) y el conjunto de indicadores priorizados a los tres casos de estudio representativos de las tipologías definidas: control aluvional, puentes y protección costera. El objetivo es testear la aplicación de la herramienta e indicadores priorizados en contextos reales, a través de los casos dados, para cuantificar los beneficios sociales por adaptación y los costos adicionales de adaptación bajo escenarios climáticos (SSP2-4.5 y SSP5-8.5), y demostrando su operatividad para informar la toma de decisión en el SNI. Como resultado se generó una síntesis comparativa por tipología de proyectos que incluye los parámetros del BSAC desagregado, un análisis de sensibilidad con métricas de decisión por escenario y recomendaciones clave.

4-2.1. Marco general

La aplicación de la herramienta y de los indicadores priorizados a los casos de estudio de cada tipología, se desarrolló en dos pasos consecutivos. Primero, se integra la información necesaria para la evaluación desde los documentos sectoriales provistos y fuentes secundarias adicionales. Segundo se generan los resultados calculando los costos y beneficios así como los indicadores de rentabilidad. Finalmente, se desarrolló una análisis de sensibilidad, en el cual se ajustan variables como la TSD y el horizonte de evaluación revisando su impacto en la rentabilidad de los proyectos (Figura 4-2.2).

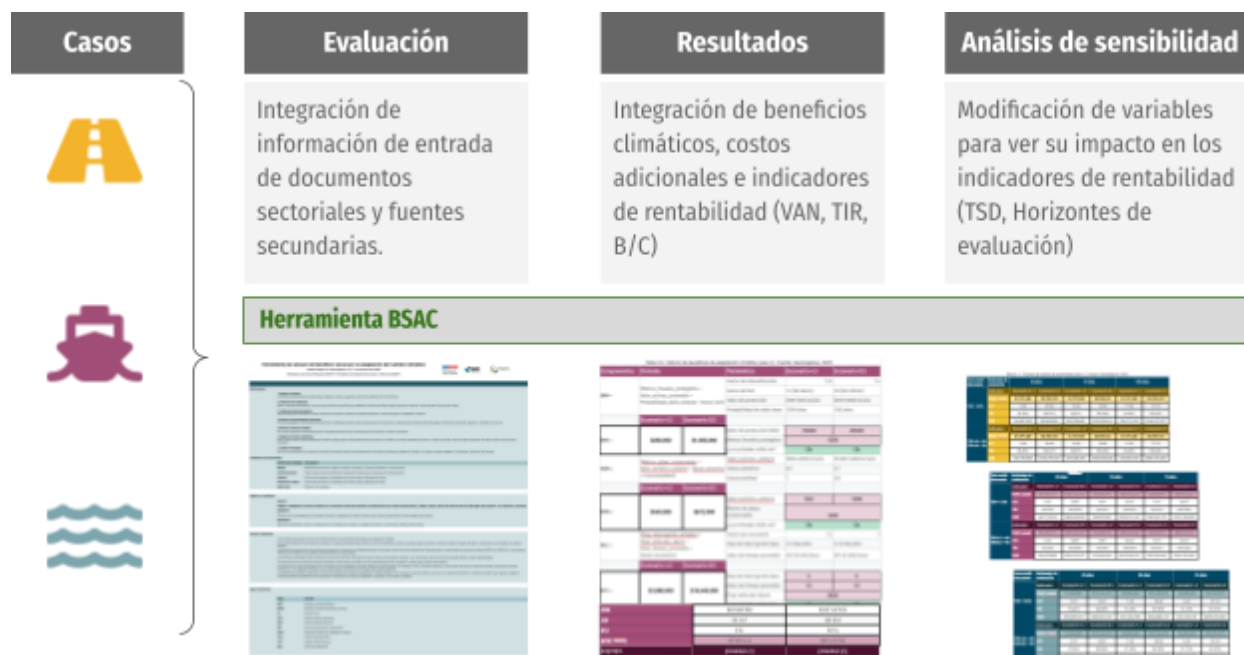


Figura 4-2.2: Marco general. Fuente: Elaboración propia, 2025.

4-2.2. Análisis por tipología

Cada una de las tres tipologías contempladas en la aplicación de la herramienta cuenta con una pestaña específica para el cálculo de beneficios por adaptación climática. La estructura es la misma para todas las tipologías de proyectos, incluyendo un árbol de decisión, herramientas recomendadas, listas de chequeo, ingreso y selección de información y finalmente el resultado de los beneficios sociales. Mayor información de los componentes, parámetros y fuentes en el [Anexo 4-2](#) | Análisis por tipología.

Casos de estudio

- **Puente Los Vientos:** Cerrado en 2023 por riesgo de colapso tras crecidas del río Claro que abrieron una grieta. La DV evaluó estabilidad de planicie de inundación, caudales máximos futuros e impactos socioeconómicos por tránsito, comparando cuatro alternativas de diseño para su reconstrucción en el mismo sitio.
- **Defensas costeras Av. Perú–Juan de Saavedra:** Se caracterizaron oleaje y mareas, se modeló la propagación y el sobrepaso, y se verificó en modelos físicos. Se compararon mantos con Tetrapods/Cubipods/Dolos y una playa artificial, evaluando desempeño, costos y cambio climático; se recomendó una implementación por etapas.
- **Quebrada Bonilla:** Sistema de muros reductores, piscinas de sedimentación y canales controla flujos aluviales de dos ramas del estero. En 2015, más de 6.000 edificios fueron dañados por lodo y escombros; la obra protege directamente a 12.840 personas en la zona de evacuación entre Antofagasta y La Chimba (Figura 4-2.3).

CASO 1: Reposición Puente Los Vientos en Ruta ZK-426	CASO 2: Diseño conservación defensas costeras sectores Avenida Perú y Juan de Saavedra	CASO 3: Obras de Control Aluvional en Quebrada Bonilla
Dirección de Vialidad (DV)	Dirección de Obras Portuarias (DOP)	Dirección de Obras Hidráulicas (DOH)
Tipología: Infraestructura vial, específicamente puentes	Tipología: Infraestructura de protección del borde costero	Tipología: Control aluvional y de manejo de cauces
Amenazas climáticas: Crecidas e inundaciones	Amenazas climáticas: Marejadas	Amenazas climáticas: Crecidas e inundaciones
Localización: Región del Maule	Localización: Región de Valparaíso	Localización: Región de Antofagasta
		

Figura 4-2.3: Casos de estudio. Fuente: Elaboración propia, 2025.

Caso 1: Puentes

Información de entrada

Para el cálculo de los beneficios sociales por adaptación climática se requirió definir los parámetros de flujo vehicular diario para el beneficio de continuidad de conectividad y para el beneficio de redundancia vial. Para el beneficio de reducción de tiempo de recuperación se calcula con la estimación de frecuencia de eventos por escenario climático. Se utilizó información desde fuentes secundarias y a través de los documentos sectoriales compartidos por la DV. El [Anexo 4-2](#) contiene información que compara estos beneficios con el beneficio existente de “Beneficio por Ahorro de Tiempo de Viaje”.

*Tabla 4-2.1: Información de entrada para cálculo de beneficios sociales de adaptación climática (caso 1).
Fuente: Elaboración propia, 2025. Con base en documentos sectoriales*

Beneficio	Parámetro	Información de entrada	¿Cómo se determinó?
BCC	Flujo Vehicular Diario	165 (veh/día)	- Datos de aforos vehiculares a ruta directa - TMDA estimado del proyecto, punto de control 2 - Estimación de flujo vehicular afectado
BRV	Flujo Vehicular Diario	1457 (veh/día)	- Datos de aforos vehiculares a rutas indirectas - TMDA estimado del proyecto, punto de control 1 - Estimación de flujo vehicular afectado

Presentación de proyecto DV, 15 septiembre 2025, Perfil Puente de los vientos, mayo 2024

Aplicación de evaluación

La herramienta BSAC se aplicó al caso de puentes, siguiendo los pasos generales previamente descritos en el marco general. La tabla a continuación presenta la lista de chequeo y los valores iniciales de entrada requeridos para la aplicación de la herramienta.

Tabla 4-2.2: Lista de chequeo y datos iniciales (caso 1). Fuente: Elaboración propia, 2025.

Lista de chequeo /notas	Sí / No	Comentario
¿El diseño cuenta con medidas de adaptación?	Sí	Continuar
¿Las medidas de adaptación consideran escenarios climáticos?	Sí	Continuar
¿Protege zonas de alta criticidad?	Sí	Beneficios por contexto espacial
¿Hay doble conteo de costos y/o beneficios?	No	Continuar
¿Los costos adicionales por adaptación climática se consideran en los costos actuales del proyecto?	No	CAA NO incluidos
¿Cuál es el costo actual del proyecto? (USD)		\$3,720,585
¿Cuál es la vida útil del proyecto? (años)		100

Se ingresa la información de entrada de la tabla 4-2.3 para el cálculo de los beneficios, adicionalmente se eligen el resto de valores dentro de los rangos preestablecidos.

Tabla 4-2.3: Cálculo de beneficios de adaptación climática (caso 1) . Fuente: Elaboración propia, 2025.

Componentes	Fórmula		Parámetros	Escenario 4.5	Escenario 8.5
BRT =	(Tiempo_recuperación_reducido × Costo_económico_interrupción × Frecuencia_eventos)		Tiempo de recuperación reducido	24-48 horas	48-72 horas
			Costo económico de interrupción	\$50,000-200,000/día	\$100,000-500,000/día
			Frecuencia de eventos	1:10 años	1:5 años
	Escenario 4.5	Escenario 8.5			
BRT =	\$550,000	\$2,100,000	Tiempo de recuperación reducido	24	48
			Costo económico de interrupción	50000	100000
			¿Las entradas están ok?	Ok	Ok
BRV =	(Días_interrupción_evitados × Flujo_vehicular_diario (de ruta a la que dá redundancia) × Valor_tiempo_promedio × Factor_escenario)		Factor por escenario	1.5	3
			Días de interrupción base	2-5 días/año	5-12 días/año
			Valor de tiempo promedio	\$15-25 USD/hora	\$15-25 USD/hora
	Escenario 4.5	Escenario 8.5			
BRV =	\$1,573,560	\$7,867,800	Días de interrupción base	2	5
			Valor de tiempo promedio	15	15
			Flujo vehicular diario	1457	
			¿Las entradas están ok?	Ok	Ok
BCC =	(Días_interrupción_evitados × Flujo_vehicular_diario × Valor_tiempo_promedio × Factor_escenario)		Factor por escenario	1.5	3
			Días de interrupción base	2-5 días/año	5-12 días/año
			Valor de tiempo promedio	\$15-25 USD/hora	\$15-25 USD/hora
	Escenario 4.5	Escenario 8.5			
BCC =	\$178,200	\$891,000	Días de interrupción base	2	5
			Valor de tiempo promedio	15	15
			Flujo vehicular diario	165	
			¿Las entradas están ok?	Ok	Ok

Se agregan los costos adicionales por adaptación, en caso de que no se cuente con el dato exacto se sugieren porcentajes sobre el costo total de la obra para las diferentes tipologías. También para efectos del cálculo de los indicadores económicos se usan los porcentajes de costos por operación y mantenimiento indicados.

Tabla 4-2.4: Cálculo de costos asociados (caso 1). Fuente: Elaboración propia, 2025.

Componentes	Fórmula		Parámetros	Escenario 4.5	Escenario 8.5
CAA =			Costos adicionales por adaptación	8-15%	15-25%
	Escenario 4.5	Escenario 8.5			
CAA =	E558,088	E930,146	Costos adicionales por adaptación	15	25
			¿Las entradas están ok?	Ok	Ok
			CAA calculado en el proyecto		
Costo O&M =	3%	5%	Costos de operación y mantenimiento		
r_ajustada:	4%	3%	Tasa de descuento ajustada	3-4%	2-3%

Resultados

Utilizando los beneficios sociales por adaptación climática calculados, los costos adicionales de adaptación, costos de O&M y la inversión inicial, se generan los flujos de caja y se calculan los indicadores económicos. La tabla 4-2.5 resume los resultados

Tabla 4-2.5: Síntesis de resultados (caso 1). Fuente: Elaboración propia, 2025.

Indicador	Escenario 4.5	Escenario 8.5
BSAC anual ¹²	\$1,757,426	\$8,780,133
B/C	11.38	37.76
TIR	38.46%	186.38%
VAN	\$34,661,339	\$261,411,985

¹² Beneficios Sociales por Adaptación Climática anual sin traer al valor actual.

Caso 2: Protección costera

Información de entrada

Para el cálculo de los beneficios sociales por adaptación climática se requirió definir los parámetros de metros lineales protegidos para el beneficio de protección de activos, flujo vehicular diario para el beneficio de continuidad de conectividad y metros de playa preservados para el beneficio de turismo mantenido. Esta información se obtuvo a través de los documentos sectoriales compartidos por la DOP y fuentes adicionales como el portal de datos para resiliencia, con volúmenes de tránsito del plan nacional de censos, dirección de vialidad 2024.

Tabla 4-2.6: Información de entrada para cálculo de beneficios sociales de adaptación climática (caso 2).

Fuente: Elaboración propia, 2025. Con base en documentos sectoriales

Beneficio	Parámetro	Información de entrada	¿Cómo se determinó?
BPA	Metros Lineales Protegidos	1200 (m)	- Datos del diseño propuesto - Metros lineales protegidos de Av Perú - Metros lineales protegidos de Juan Saavedra - Cálculo de sumatoria (Beneficio de protección de activos)
BCC	Flujo Vehicular Diario	3600 (veh/día)	- Datos de aforos vehiculares a rutas cercanas - Volúmenes de tránsito del plan nacional de censos - Estimación de flujo vehicular afectado
BTM	Metros playa conservados	1200 (m)	- Datos del diseño propuesto - Metros lineales protegidos de Av Perú - Metros lineales protegidos de Juan Saavedra - Cálculo de sumatoria (Beneficio de turismo mantenido)

Aplicación de evaluación

La herramienta BSAC se aplicó al caso de protección costera, siguiendo los pasos generales previamente descritos. La tabla a continuación presenta la lista de chequeo y los valores iniciales de entrada requeridos para la aplicación de la herramienta.

Tabla 4-2.7: Lista de chequeo y datos iniciales (caso 2). Fuente: Elaboración propia, 2025.

Lista de chequeo /notas	Sí / No	Comentario
¿El diseño cuenta con medidas de adaptación?	Sí	Continuar
¿Las medidas de adaptación consideran escenarios climáticos?	Sí	Continuar
¿Protege zonas de alta criticidad por tsunami / marejada?	Sí	Beneficios por contexto espacial
¿Hay doble conteo de costos y/o beneficios?	No	Continuar
¿Los costos adicionales por adaptación climática se consideran en los costos actuales del proyecto?	No	CAA NO incluidos
¿Cuál es el costo actual del proyecto? (USD)	\$7,218,161	
¿Cuál es la vida útil del proyecto? (años)	75	

Se ingresa la información de entrada de la tabla 4-2.8 para el cálculo de los beneficios, adicionalmente se eligen el resto de valores dentro de los rangos preestablecidos.

Tabla 4-2.8: Cálculo de beneficios de adaptación climática (caso 2). Fuente: Elaboración propia, 2025.

Componentes	Fórmula		Parámetros	Escenario 4.5	Escenario 8.5
BPA =	(Metros_lineales_protegidos × Valor_activos_promedio × Probabilidad_daño_evitada × Factor_SLR)		Factor de intensificación	1.25	1.5
			Factor de SLR	1.3 (30-60cm)	2.0 (60-120cm)
			Valor de protección	\$10K-50K/m/año	\$25K-100K/m/año
			Probabilidad de daño base	1:100 años	1:50 años
	Escenario 4.5	Escenario 8.5			
BPA =	\$208,000	\$1,600,000	Valor de protección (USD)	10000	25000
			Metros lineales protegidos	1200	
			¿Las entradas están ok?	Ok	Ok
BTM =	(Metros_playa_conservados × Valor_turístico_unitario × Factor_atractivo × Estacionalidad)		Valor_turístico_unitario	\$500-2,000/m/año	\$1,000-5,000/m/año
			Factor_atractivo	0.9	0.7
			Estacionalidad	1	0.8
	Escenario 4.5	Escenario 8.5			
BTM =	\$540,000	\$672,000	Valor_turístico_unitario	500	1000
			Metros de playa conservados	1200	
			¿Las entradas están ok?	Ok	Ok
BCC =	(Días_interrupción_evitados × Flujo_vehicular_diario × Valor_tiempo_promedio × Factor_escenario)		Factor por escenario	1.5	3
			Días de interrupción base	2-5 días/año	5-12 días/año
			Valor de tiempo promedio	\$15-25 USD/hora	\$15-25 USD/hora
	Escenario 4.5	Escenario 8.5			
BCC =	\$3,888,000	\$19,440,000	Días de interrupción base	2	5
			Valor de tiempo promedio	15	15
			Flujo vehicular diario	3600	
			¿Las entradas están ok?	Ok	Ok

Se agregan los costos adicionales por adaptación, en caso de que no se cuente con el dato exacto se sugieren porcentajes sobre el costo total de la obra para las diferentes tipologías. También para efectos del cálculo de los indicadores económicos se usan los porcentajes de costos por operación y mantenimiento indicados.

Tabla 4-2.9: Cálculo de costos asociados (caso 2). Fuente: Elaboración propia, 2025.

Componentes	Fórmula		Parámetros	Escenario 4.5	Escenario 8.5
CAA =			Costos adicionales por adaptación	15-25%	25-40%
	Escenario 4.5	Escenario 8.5			
CAA =	E1,804,540	E2,887,264	Costos adicionales por adaptación	25	40
			¿Las entradas están ok?	Ok	Ok
			CAA calculado en el proyecto		
Costo O&M=	5%	8%			
r_ajustada:	4%	3%	Tasa de descuento ajustada	3-4%	2-3%

Resultados

Utilizando los beneficios sociales por adaptación climática calculados, los costos adicionales de adaptación, costos de O&M y la inversión inicial, se generan los flujos de caja y se calculan los indicadores económicos. La tabla 4-2.10 resume los resultados:

Tabla 4-2.10: Síntesis de resultados (caso 2). Fuente: Elaboración propia, 2025.

Indicador	Escenario 4.5	Escenario 8.5
BSAC anual	\$4,430,773	\$20,133,333
B/C	9.21	28.27
TIR	45.11%	193.52%
VAN	\$83,993,626	\$554,116,445

Caso 3: Control aluvional

Información de entrada

Para el cálculo de los beneficios sociales por adaptación climática se requirió definir los parámetros de área de inundación protegida para el beneficio de daños por inundación evitados, flujo vehicular diario para el beneficio de continuidad de conectividad y la cantidad de hogares afectados para el beneficio de continuidad de servicios. Esta información se obtuvo a través de los documentos sectoriales compartidos por la DOH y fuentes adicionales como el portal de datos para resiliencia, con volúmenes de tránsito del plan nacional de censos.

Tabla 4-2.11: Información de entrada para cálculo de beneficios sociales de adaptación climática (caso 3). Fuente: Elaboración propia, 2025. Con base en documentos sectoriales

Beneficio	Parámetro	Información de entrada	¿Cómo se determinó?
BDI	Área de afectación Protegida	45 (ha)	- Datos de la modelación realizada - Áreas de inundación para condición sin proyecto - Áreas de inundación para condición con proyecto - Cálculo de diferencia (Beneficio de daños evitados)
BCC	Flujo Vehicular Diario	3000 (veh/día)	- Datos de aforos vehiculares a rutas cercanas - Volúmenes de tránsito del plan nacional de censos - Estimación de flujo vehicular afectado 4-2.2.8
BCS	Hogares Afectados	430 (Hogares)	- Datos del estudio por ausentismo laboral - Viviendas afectadas para condición sin proyecto - Viviendas afectadas para condición con proyecto - Cálculo de diferencia (Beneficio de daños evitados)

Aplicación de evaluación

La herramienta BSAC se aplicó al caso de control aluvional, siguiendo los pasos generales previamente descritos. La tabla a continuación presenta la lista de chequeo y los valores iniciales de entrada requeridos para la aplicación de la herramienta.

Tabla 4-2.12: Lista de chequeo y datos iniciales (caso 3). Fuente: Elaboración propia, 2025.

Lista de chequeo /notas	Sí / No	Comentario
¿El diseño cuenta con medidas de adaptación?	Sí	Continuar
¿Las medidas de adaptación consideran escenarios climáticos?	Sí	Continuar
¿Protege zonas de alta criticidad frente a aluviones/inundaciones?	Sí	Beneficios por contexto espacial
¿Hay doble conteo de costos y/o beneficios?	No	Continuar
¿Los costos adicionales por adaptación climática se consideran en los costos actuales del proyecto?	No	CAA NO incluidos
¿Cuál es el costo actual del proyecto? (USD)	\$14,311,622	
¿Cuál es la vida útil del proyecto? (años)	75	

Se ingresa la información de entrada de la tabla 4-2.13 para el cálculo de los beneficios, adicionalmente se eligen el resto de valores dentro de los rangos preestablecidos.

Tabla 4-2.13: Cálculo de beneficios de adaptación climática (caso 3). Fuente: Elaboración propia, 2025.

Componentes	Fórmula		Parámetros	Escenario 4.5	Escenario 8.5
BDI =	(Área_protegida_ha × Valor_promedio_terreno × Probabilidad_inundación_reducida × Factor_intensificación)		Factor de intensificación	1.25	1.5
			Valor del daño evitado	\$500-2,000/ha/año	\$2,000-8,000/ha/año
			Probabilidad de inundación base	1:50 años	1:25 años
	Escenario 4.5	Escenario 8.5			
BDI =	\$56,250	\$270,000	Valor del daño evitado	500	2000
			Área protegida ha	45	
			¿Las entradas están ok?	Ok	Ok
BCS =	(Horas_interrupción_evitadas × (Valor_serv_agua + valor_serv_electrico) × x hogares_afectados × Factor_escenario)		Factor por escenario	1.2	1.45
			Horas de interrupción	6–24 h	12–48 h
			Valor servicio agua	7–15 USD/hh h	15–60 USD/hh h
			Valor servicio eléctrico	Viv.: 2–10 USD/h	Viv.: 3–15
	Escenario 4.5	Escenario 8.5			
BCS =	\$27,864	\$134,676	Horas de interrupción	6	12
			Valor servicio agua	7	15
			Valor servicio eléctrico	2	3
			Hogares afectados	430	
			¿Las entradas están ok?	Ok	Ok
BCC =	(Días_interrupción_evitados × Flujo_vehicular_diario × Valor_tiempo_promedio × Factor_escenario)		Factor por escenario	1.5	3
			Días de interrupción base	2-5 días/año	5-12 días/año
			Valor de tiempo promedio	\$15-25 USD/hora	\$15-25 USD/hora
	Escenario 4.5	Escenario 8.5			
BCC =	\$3,240,000	\$16,200,000	Días de interrupción base	2	5
			Valor de tiempo promedio	15	15
			Flujo vehicular diario	3000	
			¿Las entradas están ok?	Ok	Ok

Se agregan los costos adicionales por adaptación, en caso de que no se cuente con el dato exacto se sugieren porcentajes sobre el costo total de la obra para las diferentes tipologías. También para efectos del cálculo de los indicadores económicos se usan los porcentajes de costos por operación y mantenimiento indicados.

Tabla 4-2.14. Cálculo de costos asociados (caso 3). Fuente: Elaboración propia, 2025.

Componentes	Fórmula		Parámetros	Escenario 4.5	Escenario 8.5
CAA =			Costos adicionales por adaptación	12-20%	20-35%
	Escenario 4.5	Escenario 8.5			
CAA =	E2,862,324	E5,009,068	Costos adicionales por adaptación	20	35
			¿Las entradas están ok?	Ok	Ok
			CAA calculado en el proyecto		
Costo O&M =	2%	3.5%			
r_ajustada:	4%	3%	Tasa de descuento ajustada	3-4%	2-3%

Resultados

Utilizando los beneficios sociales por adaptación climática calculados, los costos adicionales de adaptación, costos de O&M y la inversión inicial, se generan los flujos de caja y se calculan los indicadores económicos. La tabla 4-2.15 resume los resultados:

Tabla 4-2.15. Síntesis de resultados (caso 3). Fuente: Elaboración propia, 2025.

Indicador	Escenario 4.5	Escenario 8.5
BSAC anual	\$3,268,802	\$16,343,676
B/C	6.34	21.54
TIR	17.37%	81.97%
VAN	\$51,394,294	\$437,939,902

Análisis de sensibilidad

Para cada una de los casos se hizo el cálculo de los beneficios y parámetros económicos ajustando la TSD de 5.5% a los valores de 3 y 4% (según escenario climático), además se usaron tres diferentes horizontes de evaluación para comparar el comportamiento de los indicadores y de cómo pueden influir en la rentabilidad de los proyectos.

Tabla 4-2.16. Síntesis de análisis de sensibilidad (caso 1). Fuente: Elaboración propia, 2025.

Tasa social descuento	Horizonte de evaluación	20 años		75 años		100 años	
TSD = 5.5%	Indicador	Escenario 4.5	Escenario 8.5	Escenario 4.5	Escenario 8.5	Escenario 4.5	Escenario 8.5
	BSAC anual	\$1,757,426	\$8,780,133	\$1,757,426	\$8,780,133	\$1,757,426	\$8,780,133
	B/C	5.40	20.99	10.42	35.40	11.38	37.76
	TIR	38.45%	186.47%	38.47%	186.39%	38.46%	186.38%
	VAN	\$14,607,852	\$93,824,801	\$23,796,697	\$142,290,514	\$24,171,192	\$144,272,327
TSD 4.5 = 4% TSD 8.5 = 3%	Indicador	Escenario 4.5	Escenario 8.5	Escenario 4.5	Escenario 8.5	Escenario 4.5	Escenario 8.5
	BSAC anual	\$1,757,426	\$8,780,133	\$1,757,426	\$8,780,133	\$1,757,426	\$8,780,133
	B/C	5.40	20.99	10.42	35.40	11.38	37.76
	TIR	38.45%	186.47%	38.47%	186.39%	38.46%	186.38%
	VAN	\$17,416,659	\$120,747,033	\$33,360,345	\$245,456,328	\$34,661,339	\$261,411,985

Tabla 4-2.17. Síntesis de análisis de sensibilidad (caso 2). Fuente: Elaboración propia, 2025.

Tasa social descuento	Horizonte de evaluación	30 años		50 años		75 años	
TSD = 5.5%	Indicador	Escenario 4.5	Escenario 8.5	Escenario 4.5	Escenario 8.5	Escenario 4.5	Escenario 8.5
	BSAC anual	\$4,430,773	\$20,133,333	\$4,430,773	\$20,133,333	\$4,430,773	\$20,133,333
	B/C	6.72	22.07	8.19	25.83	9.21	28.27
	TIR	45.27%	193.97%	45.15%	193.55%	45.11%	193.52%
	VAN	\$47,714,972	\$260,448,930	\$56,819,897	\$304,313,237	\$60,322,710	\$321,368,942
TSD 4.5 = 4% TSD 8.5 = 3%	Indicador	Escenario 4.5	Escenario 8.5	Escenario 4.5	Escenario 8.5	Escenario 4.5	Escenario 8.5
	BSAC anual	\$4,430,773	\$20,133,333	\$4,430,773	\$20,133,333	\$4,430,773	\$20,133,333
	B/C	6.72	22.07	8.19	25.83	9.21	28.27
	TIR	45.27%	193.97%	45.15%	193.55%	45.11%	193.52%
	VAN	\$59,235,882	\$363,191,277	\$75,462,854	\$478,768,327	\$83,993,626	\$554,116,445

Tabla 4-2.18. Síntesis de análisis de sensibilidad (caso 3). Fuente: Elaboración propia, 2025.

Tasa social descuento	Horizonte de evaluación	30 años		50 años		75 años	
TSD = 5.5%	Indicador	Escenario 4.5	Escenario 8.5	Escenario 4.5	Escenario 8.5	Escenario 4.5	Escenario 8.5
	BSAC anual	\$3,268,802	\$16,343,676	\$3,268,802	\$16,343,676	\$3,268,802	\$16,343,676
	B/C	3.81	14.27	5.19	18.42	6.34	21.54
	TIR	17.22%	82.00%	17.36%	81.98%	17.37%	81.97%
	VAN	\$24,809,433	\$199,937,517	\$31,582,109	\$235,886,717	\$34,192,736	\$249,705,085
TSD 4.5 = 4% TSD 8.5 = 3%	Indicador	Escenario 4.5	Escenario 8.5	Escenario 4.5	Escenario 8.5	Escenario 4.5	Escenario 8.5
	BSAC anual	\$3,268,802	\$16,343,676	\$3,268,802	\$16,343,676	\$3,268,802	\$16,343,676
	B/C	3.81	14.27	5.19	18.42	6.34	21.54
	TIR	17.22%	82.00%	17.36%	81.98%	17.37%	81.97%
	VAN	\$33,077,631	\$282,722,892	\$45,086,631	\$376,910,093	\$51,394,294	\$437,939,902

Resultados principales

- En términos generales una tasa de descuento diferenciada para adaptación climática más baja incrementa el valor del VAN, lo mismo sucede con un mayor periodo de evaluación, ya que se logran capturar mayores beneficios considerando una vida útil extendida por diseños más robustos y resilientes al cambio climático.
- Respecto a los beneficios generados, el beneficio de redundancia vial (BRV) es el que mayores beneficios aporta para la tipología de puentes debido al volumen de tránsito que podría absorber la infraestructura en caso de una afectación que imposibilite el paso por la ruta CHI-115, por lo que su sub o sobre valorización puede representar si el proyecto es o no rentable.
- Para las tipologías de control aluvional y protección de borde costero en términos beneficios generados, el beneficio de continuidad de conectividad (BCC) aporta los mayores beneficios, resaltando su importancia en la protección de infraestructura crítica como la red vial, en ese sentido también su sub o sobre valorización puede marcar la diferencia en la rentabilidad del proyecto.
- Si bien para todos los casos analizados (sin cambio en parámetros iniciales de beneficios) el proyecto resulta rentable, se debe considerar que al ajustar los parámetros a la realidad del país y/o al agregar una distinción por macroregiones (Norte - Centro - Sur) esto puede cambiar, lo que implicaría que recomendaciones sugeridas como una tasa ajustada menor tomen relevancia.

ADAPTACIÓN DE LA HERRAMIENTA A LA REALIDAD NACIONAL

El propósito de la herramienta BSAC es establecer una base metodológica, utilizando proyecciones climáticas y estándares internacionales, para abordar la brecha en la estandarización de datos climáticos y la valoración de los beneficios vinculados a la adaptación climática en proyectos de infraestructura resiliente. La estructura y las fórmulas que componen esta metodología están diseñadas para ser adaptadas a las características geográficas, institucionales y socioeconómicas específicas del territorio nacional. En este contexto, se requiere un proceso deliberado de contextualización territorial, validación institucional y calibración con datos nacionales. Esta adaptación no es solo técnica, sino también institucional, pues debe integrarse coherentemente con el Sistema Nacional de Inversiones (SNI), los Requisitos de Información Sectorial (RIS) de cada Dirección del MOP, y los marcos normativos vigentes como la Ley Marco de Cambio Climático y la Estrategia Climática de Largo Plazo.

Ejemplo: Uso del valor social del tiempo en el beneficio por redundancia vial

En el caso de proyectos viales, se reconoce la importancia del beneficio por redundancia vial (BRV). Este utiliza un conjunto de indicadores: Factor por escenario climático, Días de interrupción base, Flujo vehicular diario y Valor Social del tiempo. Un caso específico para adaptar la herramienta a la realidad nacional es mediante el uso del valor social del tiempo (VST) según lo establecido en el “Reporte anual de Precios Sociales” (MDSF, 2025) en el cálculo del BRV. Para esto se reemplaza la fuente internacional “Analysis Guidance for Discretionary Grant Programs” (US DOT, 2023), que establece un monto de 15 USD para el valor social del tiempo equivalente a aproximadamente 14.000 CLP,¹³ por lo establecido en el “Reporte anual de Precios Sociales”, monto que fluctúa entre los 2.600 y 16.000 CLP según tipo de transporte y contexto.

La adaptación de la herramienta BSAC a la realidad chilena se reconoce como un proceso iterativo que requiere:

- **Diferenciación territorial:** Parámetros ajustados por macrozona climática
- **Integración institucional:** Alineamiento con SNI, RIS y marcadores DIPRES
- **Validación técnica continua:** Actualización periódica con nuevas proyecciones climáticas
- **Participación multi-actor:** Coordinación MOP-MDSF-instituciones técnicas
- **Flexibilidad metodológica:** Capacidad de ajuste según retroalimentación y nuevos datos

La herramienta constituye una primera aproximación hacia el desarrollo de un producto más robusto; se concibe como un sistema adaptable destinado a evolucionar en función del avance del conocimiento climático, la disponibilidad de datos y los requerimientos de la infraestructura pública resiliente chilena. Para orientar la obtención de datos en la aplicación práctica de la herramienta, el [Anexo 2-3](#) sistematiza las fuentes institucionales actualmente disponibles en Chile para cada tipología de amenaza, indicando las variables accesibles, su escala territorial y temporal, y el procedimiento de acceso.

¹³ 1 USD = 917.43 CLP, al tipo de cambio del día 17 de diciembre del 2025



4-3. Financiamiento

4-3. Recomendaciones para el financiamiento de infraestructura resiliente

Chile cuenta con condiciones institucionales suficientes para habilitar en un escenario de corto a mediano plazo, flujos de financiamiento climático innovador. Al articular los mecanismos existentes (bonos verdes, T-MAS) con los fondos globales disponibles o bien mediante la estructuración de alianzas público-privadas, el país puede movilizar capital a gran escala, reducir pérdidas y daños, y construir infraestructura resiliente que permita prosperar frente a un clima cambiante.

4-3.1. Breve análisis de condiciones habilitadoras

Cambio climático, pérdidas y daños, y la agenda chilena en breve

Los impactos crecientes del cambio climático están afectando de manera directa la infraestructura crítica de Chile. Ante esta situación, el país necesita movilizar recursos financieros climáticos que permitan reducir pérdidas y daños, fortalecer la resiliencia y acelerar inversiones públicas y privadas coherentes con la Ley Marco de Cambio Climático, la NDC 2025–2035 y la Estrategia Climática de Largo Plazo.

El marco internacional de cambio climático ha incorporado en los últimos años un tercer pilar junto a mitigación y adaptación: Pérdidas y Daños (P&D), que busca apoyar a los países vulnerables frente a impactos que ya no pueden evitarse ni adaptarse plenamente. La creación del Fondo para Pérdidas y Daños en la COP27 y su puesta en marcha como “Fund for responding to Loss and Damage (FRLD)” abre una nueva ventana de financiamiento para proyectos que aborden impactos económicos y no económicos asociados a eventos extremos y procesos de evolución lenta. Este fondo no sustituye a la mitigación ni a la adaptación: interviene cuando estas ya no son suficientes o cuando los daños son inevitables.

En las siguientes secciones se hará un análisis de requisitos y condiciones, así como de recomendaciones para viabilizar el financiamiento de proyectos de infraestructura resilientes en Chile.

Estado del arte de instrumentos e iniciativas de financiamiento climático para infraestructura resiliente

En esta sección se consideran de forma sintética las condiciones habilitadoras para garantizar los flujos de financiamiento climático, así como las estructuras financieras nacionales existentes que facilitan este financiamiento brindando pertinencia y transparencia a la gestión.

Planificación climática como base de elegibilidad internacional

Para que un país sea elegible para recibir o canalizar financiamiento climático debe contar con un marco jurídico - político que declare de forma clara el alcance de sus compromisos climáticos. En el caso de Chile, este marco está dado por los siguientes documentos:

- **Ley Marco de Cambio Climático:** crea un marco jurídico para que el país pueda enfrentar el cambio climático en materia de mitigación y adaptación en una mirada de largo plazo y así dar cumplimiento a sus compromisos internacionales asumidos en el Acuerdo de París.¹⁴
- **Estrategia Climática de Largo Plazo (ECLP):** define la ruta hacia la carbono-neutralidad y resiliencia al 2050, con metas como 80% de generación renovable al 2030, 100% de población urbana con acceso a servicios sanitarios y expansión de humedales urbanos protegidos. Estas metas generan una cartera natural de proyectos de infraestructura verde, hídrica y energética priorizables para financiamiento climático.¹⁵
- **NDC 2025–2035:** orienta la acción al 2035 y explicita el rol de la colaboración público-privada y los mecanismos de financiamiento para cumplir las metas, lo que habilita el uso de bonos temáticos, fondos internacionales y esquemas de mercado/Artículo 6 orientados a infraestructura.¹⁶

En particular, el capítulo 5.2.4 sobre infraestructura subraya que Chile promoverá la incorporación del cambio climático en el diseño y operación de obras públicas y privadas, garantizando que la infraestructura de transportes, hidráulica, energética y urbana sea **resiliente a impactos climáticos extremos y a largo plazo**. Esta dimensión requiere estructurar “proyectos de infraestructura adaptada al clima” que sean elegibles para financiamiento climático, integren criterios de riesgo y vulnerabilidad, y movilicen recursos públicos y privados en sinergia con los compromisos nacionales

Estos documentos en su conjunto generan las bases requeridas para habilitar el flujo de recursos financieros climáticos internacionales. Ahora bien, la ruta de estructuración y acceso a los recursos, puede variar dependiendo del enfoque, alcance y prioridades.

Arquitectura de finanzas sostenibles chilena

Las estructuras y políticas públicas que en adelante se analizan brevemente, conforman el entramado nacional que brinda respaldo y transparencia a la gestión de los recursos financieros con impactos en las metas climáticas. El siguiente gráfico ofrece una guía visual de las conexiones existentes, haciendo visible la arquitectura nacional (Figura 4-3.1).

¹⁴ <https://cambioclimatico.mma.gob.cl/ley-marco-de-cambio-climatico/descripcion-del-instrumento/>

¹⁵ <https://cambioclimatico.mma.gob.cl/estrategia-climatica-de-largo-plazo-2050/descripcion-del-instrumento/>

¹⁶ <https://mma.gob.cl/chile-lanza-la-ndc-y-estrategia-nacional-de-transicion-socioecologica-justa-de-cara-a-la-cop30/>

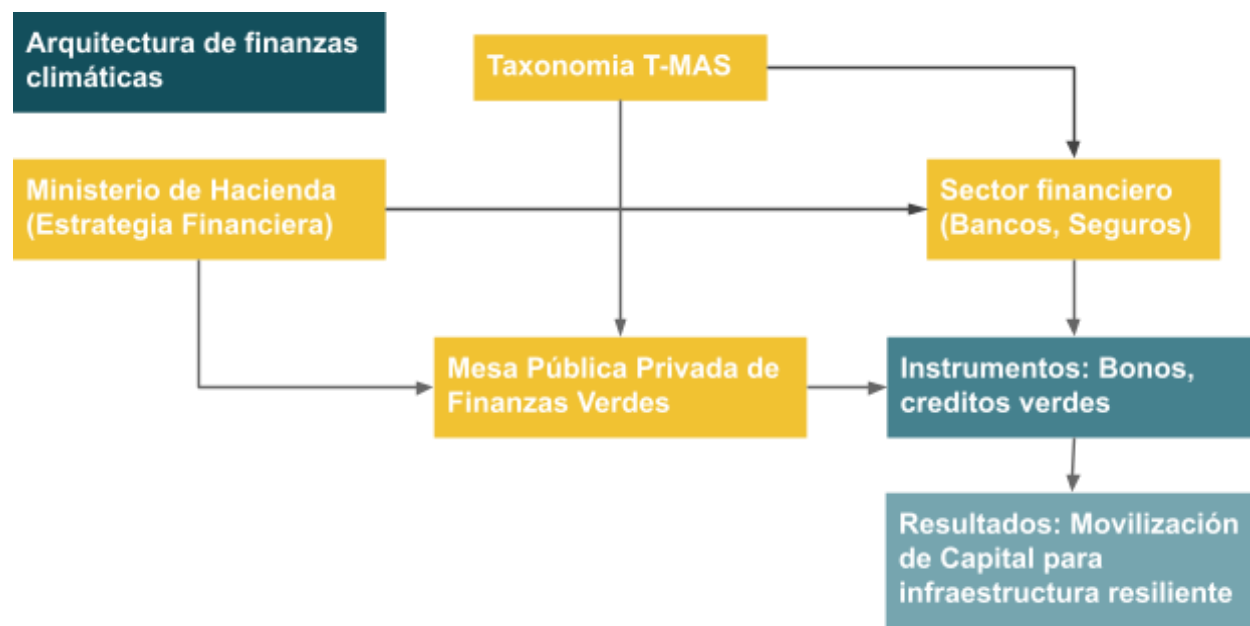


Figura 4-3.1: Arquitectura de finanzas sostenibles chilena. Fuente: Elaboración propia, 2025.

A. Estrategia Financiera frente al Cambio Climático y Agenda de Finanzas Sostenibles

La Estrategia Financiera frente al Cambio Climático (EFCC), publicada en 2019 y actualizada en 2022 y 2024, tiene como objetivo central alinear los flujos financieros con los compromisos climáticos del país y cerrar brechas de financiamiento para implementar la ECLP y la NDC.¹⁷

Los tres ejes que resumen esta agenda son:

- **Enverdecer las finanzas:** incorporar riesgos y oportunidades climáticas y de capital natural en la gestión financiera.
- **Financiar lo verde:** movilizar financiación pública y privada hacia proyectos de mitigación y adaptación.
- **Capturar la oportunidad:** usar las finanzas sostenibles para competitividad y liderazgo regional.

B. Mesa Público-Privada de Finanzas Verdes y “Acuerdo Verde”

La Mesa Público-Privada de Finanzas Verdes, creada en 2019, reúne a reguladores, bancos, aseguradoras, inversionistas y el Gobierno para definir una agenda conjunta de finanzas sostenibles, incluyendo compromisos voluntarios agrupados en el Acuerdo Verde.¹⁸

¹⁷ <https://cambioclimatico.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2024/06/2024-04-28-Actualizacion-Estrategia-Financiera-CC.pdf>

¹⁸ <https://www.hacienda.cl/areas-de-trabajo/finanzas-internacionales/finanzas-sostenibles/mesa-publico-privada-de-finanzas-verdes>

Esta instancia es clave para:

- Generar estándares de divulgación de riesgos climáticos,
- Impulsar productos financieros verdes,
- Integrar la Taxonomía T-MAS y criterios de resiliencia en las decisiones de inversión.

C. Bonos verdes, sociales y sostenibles (ESG)

Chile cuenta con un Marco de Bonos Sostenibles que permite emitir bonos verdes, sociales y sostenibles soberanos, con categorías elegibles que incluyen:

- Transporte limpio
- Eficiencia energética
- Energía renovable
- Gestión eficiente y resiliente al clima del agua
- Edificios verdes
- Conservación de recursos naturales y áreas marinas protegidas¹⁹

Este marco ya ha sido usado para financiar inversión pública en infraestructura baja en emisiones y resiliente, y puede ampliarse para proyectos explícitos de infraestructura crítica adaptada al clima (carreteras, hospitales, puertos, desaladoras, infraestructura hídrica urbana).

D. Taxonomía de Actividades Medioambientalmente Sostenibles (T-MAS)

La T-MAS es un sistema de clasificación que identifica qué actividades económicas pueden considerarse medioambientalmente sostenibles con criterios claros y basados en la ciencia, evitando el “lavado verde” y entregando un lenguaje común a inversionistas y empresas.

Para infraestructura, la T-MAS ofrece:

- Criterios técnicos para proyectos de construcción, transporte, energía, agua y residuos,
- Guía para que concesionarias y bancos públicos/privados determinen si un proyecto es elegible como “verde” y, en el futuro, como resiliente y alineado con límites de adaptación.

19

<https://www.hacienda.cl/areas-de-trabajo/finanzas-internacionales/oficina-de-la-deuda-publica/bonos-esg/bonos-sostenibles>

4-3.2. Instrumentos facilitadores disponibles

Bonos verdes y azules para infraestructura resiliente

¿Para qué sirve este mecanismo?

Chile ya ha avanzado en la emisión de bonos verdes y sostenibles, que ya financian infraestructura pública en transporte limpio, agua, energía, edificios y conservación. Sin embargo, el Marco de Bonos Sostenibles permite ampliar su uso hacia infraestructura explícitamente resiliente y a infraestructura costera y marina (bonos azules).

Los bonos permiten:

- movilizar capital a gran escala,
- financiar proyectos públicos y concesionados,
- atraer inversionistas institucionales,
- mejorar el perfil financiero de proyectos resilientes.

¿Cómo hacer un bono que financie infraestructura resiliente? Algunos aspectos clave son:

- Actualizar el Marco de Bonos Sostenibles, incorporando una nueva categoría: "Infraestructura Crítica Resiliente al Cambio Climático" (carreteras, puertos, sistemas de agua, infraestructura sanitaria y energética).
- Incorporar infraestructura costera y marina para habilitar emisiones de bonos azules (protección costera, restauración de humedales y dunas, adaptación portuaria).
- Integrar criterios T-MAS y análisis de riesgo climático físico en cada emisión.
- Involucrar a las entidades públicas competentes para crear una cartera priorizada de proyectos resilientes.
- Alinear reportes de impacto con las metas de adaptación de la NDC y la ECLP, incluyendo indicadores de pérdidas y daños evitados.

Qué condiciones se deben cumplir

- Trazabilidad ambiental robusta mediante T-MAS.
- Metodologías de MRV que permitan verificar el impacto climático

Posicionar la Taxonomía T-MAS como puerta de entrada para financiamiento climático en infraestructura

¿Para qué sirve la T-MAS?

La T-MAS es el estándar nacional que define qué actividades son ambientalmente sostenibles. Permite clasificar proyectos de infraestructura como “verdes” o “resilientes”, aumentando su elegibilidad para:

- Bonos Verdes/Azules
- Créditos Verdes Bancarios
- Financiamiento de Bancos Multilaterales
- Fondos Climáticos Internacionales

Cómo utilizar la T-MAS para favorecer el financiamiento climático de infraestructura:

- Clasificar toda la cartera de inversión pública y concesionada del MOP con T-MAS: transporte, agua, energía, infraestructura social y portuaria.
- Exigir criterios T-MAS en bases de licitación de concesiones para incentivar la inversión privada verde y resiliente.
- Incorporar T-MAS en el Sistema Nacional de Inversiones (SNI) como criterio de preinversión y prefactibilidad.
- Usar T-MAS como base para demostrar a fondos internacionales que la infraestructura es: (i) climáticamente alineada; (ii) resiliente

Condiciones clave para lograrlo

- Capacitar equipos sectoriales en criterios verdes y de evaluación climática.

Mecanismos del Artículo 6 y cómo usarlos en infraestructura resiliente

¿Para qué sirve el Artículo 6?

Permite la cooperación internacional mediante transferencias de resultados de mitigación (Art. 6.2) proyectos bajo un mecanismo centralizado (Art. 6.4), o bien mecanismos de cooperación no-reembolsable (6.8). Aunque es un mecanismo principalmente de mitigación, puede financiar infraestructura resiliente cuando genera co-beneficios de reducción de emisiones, por ejemplo:

- electrificación portuaria
- modernización de sistemas de agua y energía
- infraestructura verde urbana

Además, el Artículo 6 puede movilizar capital privado mediante pagos por resultados, blended finance y reducción de riesgos.

¿Qué debe hacerse para aplicar los mecanismos del artículo 6 a la infraestructura resiliente? Algunos proceso y requisitos clave son:

1. Completar los arreglos institucionales para crear una estructura institucional de gobernanza de acuerdo a los parámetros del Artículo 6, con
 - órgano de supervisión,
 - unidad técnica,
 - sistema de autorización de ITMOs²⁰
2. Identificar proyectos de infraestructura que generen reducciones medibles, y cuantificar su potencial, mediante metodologías aprobadas. Algunos ejemplo de proyecto son:
 - eficiencia energética en infraestructura crítica,
 - electrificación de transporte y puertos,
 - reducción de fugas de agua potable (que reduce emisiones del bombeo),
 - infraestructura verde urbana que captura CO₂.
3. Desarrollar metodologías de línea base y MRV específicas para infraestructura.
4. Firmar acuerdos bilaterales con países interesados en comprar ITMOs o en financiar etapas de preparación (6.8) (por ejemplo: Suiza, Japón, UE).
5. Combinar la aplicación del Artículo 6 con:
 - financiamiento verde (bonos ESG),
 - T-MAS (elegibilidad),
 - proyectos resilientes articulados con Pérdidas y Daños.

Condiciones que Chile debe cumplir

- Registro nacional de ITMOs.
- Sistema MRV compatible con el marco de transparencia.
- Metodologías de mitigación específicas para infraestructura.
- Aprobación y transparencia de los ajustes correspondientes.

Pérdidas y Daños: cómo posicionar proyectos ante el FRLD y aprovechar el BIM

¿Para qué sirve este mecanismo?

El FRLD es el primer mecanismo global dedicado a financiar pérdidas y daños inevitables derivados del cambio climático. Su fase inicial, el BIM (Barbados Implementation Modalities),²¹ entrega subvenciones de USD 5–20 millones por proyecto, priorizando países con capacidad de implementación y vulnerabilidad climática.

Este fondo permite financiar:

- reconstrucción resiliente de infraestructura dañada,
- reubicación de infraestructura en zonas donde adaptación no es posible,
- infraestructura hídrica alternativa ante sequía severa,

²⁰ La nomenclatura para denominar las unidades de carbono.

²¹ https://www.frlld.org/sites/default/files/FRLD_BIM_1_Terms%20of%20Reference.pdf

- protección costera,
- SbN que reduzcan daños,
- medidas para enfrentar procesos de evolución lenta (sequía, salinización, erosión costera).

Cómo aplicar al BIM

1. Designar un punto focal nacional para el FRLD/BIM (idealmente MMA + Hacienda).
2. Seleccionar 1–2 proyectos emblemáticos.
3. Generar diagnósticos sólidos de pérdidas y daños, y vincularlo con la arquitectura climática vigente: NDC, ECLP y evaluaciones post-desastre.
4. Presentar notas conceptuales y solicitudes completas siguiendo las plantillas del BIM.²²
5. Vincular la infraestructura con límites de adaptación, mostrando por qué la intervención es necesaria y no sustituible.

Condiciones que Chile debe cumplir

- Evidencia clara de pérdidas y daños existentes o inevitables.
- Alineamiento con NDC, ECLP y Planes Sectoriales de Adaptación.
- Arreglos institucionales robustos para implementar y reportar proyectos.

El siguiente gráfico ofrece una síntesis de los principales instrumentos de financiamiento climático disponibles para la infraestructura resiliente (Figura 4-3.2).



Figura 4-3.2. Síntesis de instrumentos de financiamiento climático disponibles. Fuente: Elaboración propia, 2025.

²² https://www.frlld.org/sites/default/files/FRLD_BIM_1_Terms%20of%20Reference.pdf



4-4. Plan de acción

4-4. Plan de acción

El principal aporte del Informe N2 es la aplicación de una **propuesta metodológica** para integrar la adaptación al cambio climático en la evaluación social de proyectos de infraestructura pública de Chile. La herramienta BSAC (Beneficios Sociales por Adaptación Climática) permite la valorización social de los beneficios de la infraestructura resiliente utilizando valores referenciales como referencias de orden de magnitud. En la herramienta se determinan los indicadores que permiten medir la adaptación al cambio climático de los proyectos a evaluar y se desarrollan las fórmulas de cálculo de los indicadores clave para cuantificar el beneficio social de la adaptación de la infraestructura, según tipología y según dos escenarios previstos de cambio climático.

El plan de acción propuesto para la herramienta BSAC permite avanzar progresivamente en la implementación de esta y abordar las brechas críticas identificadas en la fase de diagnóstico de esta consultoría. El plan se articula como una estrategia de intervención y una lista de verificación (checklist) de implementación sencilla, estructurada en 10 elementos clave.

4-4.1. Implementación de la herramienta

1. PREPARACIÓN INSTITUCIONAL

1.1 Gobernanza y Coordinación

☑ Conformar Comité Técnico Interinstitucional	☑ Designar Puntos Focales por Dirección	☑ Establecer Protocolo de Coordinación
• MOP (DOH, DV, DOP) • MDSF/DIRPLAN • Representantes técnicos sectoriales • Definir frecuencia (reuniones mensuales)	• Responsable técnico de implementación • Enlace con MDSF para evaluación • Coordinador de capacitación	• Flujo de comunicación MOP-MDSF • Procedimiento de consultas técnicas • Mecanismo de resolución de dudas

1.2 Datos e Información Climática

☑ Crear Repositorio Compartido de Datos	☑ Establecer Convenios Institucionales	☑ Estandarizar Protocolos de Modelación
• Curvas IDF actualizadas por región • Proyecciones SLR (SHOA) • Mapas de amenaza (SENAPRED, ARCLIM) • Factores de emisión actualizados	• DGA: Datos hidrológicos y proyecciones • SHOA: Nivel del mar y oceanografía • SENAPRED: Mapas de riesgo • ARCLIM: Escenarios climáticos regionalizados	• Guía de modelación hidrológica con CC • Guía de modelación hidráulica con CC • Guía de modelación costera con CC • Criterios de calibración y sensibilidad

- Plataforma de acceso centralizado
- DMC: Datos meteorológicos históricos

2. PILOTAJE Y VALIDACIÓN

2.1 Proyectos Piloto

☑ Seleccionar 3 Proyectos Piloto (1 por tipología)	☑ Aplicar Herramienta BSAC	☑ Evaluación de Resultados
• Proyecto DOH: Control aluvional • Proyecto DV: Puente en zona crítica • Proyecto DOP: Defensa costera • Criterio: proyectos en fase de preinversión (perfil, prefactibilidad, factibilidad)	• Completar checklist por tipología • Calcular BSAC para ambos escenarios • Integrar en evaluación social tradicional • Documentar proceso y dificultades	• Comparar VAN con/sin adaptación • Analizar sensibilidad de parámetros • Identificar ajustes necesarios • Validar con MDSF

2.2 Ajuste de Parámetros

☑ Calibrar Valores de Referencia	☑ Validar Factores de Intensificación	☑ Actualizar Herramienta Excel
• Costos de interrupción (horas/día) • Daños evitados (\$/ha) • Valor de servicios críticos • Sobrecostos de adaptación por tipología • Base: resultados de pilotos + datos nacionales	• SSP2-4.5: Verificar rangos 10-25% • SSP5-8.5: Verificar rangos 20-40% • Ajustar por zona geográfica si necesario (considerar macrozonas - regiones)	• Incorporar parámetros calibrados • Mejorar interfaz según retroalimentación • Versión 2.0 de BSAC

3. FORTALECIMIENTO TÉCNICO

3.1 Capacitación

☑ Programa de Formación Básica	☑ Talleres Prácticos por Tipología	☑ Certificación de Evaluadores
• Módulo 1: Fundamentos	• Taller DOH: Control	• Diseñar proceso de

de cambio climático • Módulo 2: Uso de herramienta BSAC • Módulo 3: Interpretación de resultados • Módulo 4: Integración con metodología SNI • Meta: definir un % de profesionales clave capacitados	aluvional • Taller DV: Puentes resilientes • Taller DOP: Protección costera • Incluir ejercicios con casos reales	certificación interna • Establecer requisitos mínimos • Crear registro de evaluadores certificados
--	--	--

4. IMPLEMENTACIÓN GRADUAL

4.1 Marco Institucional

☒ Formalizar Uso de Herramienta BSAC	☒ Actualizar RIS Sectoriales	☒ Ajustar TdR Tipo
• Resolución/Circular ministerial que instruye uso • Definir obligatoriedad según umbrales de inversión • Establecer plazos de implementación progresiva	• Incorporar módulo climático en RIS DOH • Incorporar módulo climático en RIS DV • Incorporar módulo climático en RIS DOP • Plazo: 6 meses desde inicio	• Incluir checklist de resiliencia climática • Especificar escenarios obligatorios (SSP2-4.5 / SSP5-8.5) • Definir parámetros mínimos de modelación

4.2 Escalonamiento por Complejidad

☒ Fase 1: Proyectos Grandes (Monto > \$ millones)	☒ Fase 2: Proyectos Medianos (rango \$ - \$ millones)	☒ Fase 3: Proyectos Pequeños (< \$1millones)
• Aplicación obligatoria de BSAC • Evaluación completa con ambos escenarios • Revisión técnica reforzada	• Aplicación obligatoria de BSAC simplificado • Evaluación con escenario principal (SSP5-8.5) • Análisis de sensibilidad opcional	• Checklist climático obligatorio • BSAC opcional según criticidad territorial • Criterios simplificados

4.3 Integración Operativa

☒ Actualizar Planillas SNI	☒ Modificar Proceso de	☒ Crear Sistema de
---	---	---

	Revisión MDSF	Seguimiento
- Incluir campos para beneficios climáticos - Automatizar cálculo de BSAC ajustado - Generar reportes estandarizados	- incorporar revisión de módulo climático - Definir criterios de aprobación diferenciados - Establecer plazos de pronunciamiento	- Dashboard de proyectos con evaluación climática - Indicadores de avance de implementación - Alertas de actualización de parámetros

4-4.2. Atención de brechas críticas

5. ATENCIÓN DE BRECHAS CRÍTICAS

5.1 Valoración Económica de Resiliencia

☒ Desarrollar Tablas de Referencia	☒ Metodología de Beneficios Intangibles	☒ Guía de Evaluación de SbN
- Costos de interrupción vial (\$/hora-veh) - Costos de corte servicios críticos (\$/hora-usuario) - Daños evitados por tipología de activo (\$/m²) - Valor de redundancia de red (\$/día) - Base: 5 regiones prioritarias	- Protocolo para valorar vidas salvadas - Protocolo para valorar seguridad percibida - Protocolo para valorar continuidad educativa/salud - Validación con MDSF	- Casos tipo con cuantificación de beneficios - Parámetros de O&M y vida útil - Criterios de comparabilidad con obras grises - Ejemplos piloto documentados

5.2 Incertidumbre y Análisis Multiescenario

☒ Protocolo de Análisis de Sensibilidad	☒ Metodología de Robustez	☒ Tasas de Descuento Diferenciadas
- Variables críticas a testear - Rangos de variación estándar - Formato de presentación de resultados - Integración en evaluación social	- Cálculo de VAN por escenario - Índice de robustez (performance mínimo) - Criterios de decisión bajo incertidumbre - Ejemplos aplicados	- Mesa técnica de discusión MOP, MDSF - Justificación técnica para MDSF - Formalizar uso de tasas ajustadas (2-4%) - Aplicación según escenario y horizonte

5.3 Priorización Territorial

☒ Integrar Vulnerabilidad en Criterios	☒ Herramienta de Priorización Territorial
• Índice de vulnerabilidad social por comuna • Mapa de criticidad logística (conectividad) • Ponderadores para priorización • Aplicación en cartera 2026	• Integrar METVIAL con vulnerabilidad climática • Integrar RVC con escenarios de amenaza • Desarrollar análogo para DOH y DOP • Sistema de scoring estandarizado

5.4 Datos e Interoperabilidad

☒ Plataforma Integrada de Información	☒ Biblioteca de Casos Tipo
• Portal web de acceso a datos climáticos • API para consulta automatizada • Actualización trimestral de datos • Manual de usuario	• Casos documentados (por ejemplo 3-4 por tipología) • Fichas técnicas estandarizadas • Buenas prácticas identificadas • Lecciones aprendidas

6. MITIGACIÓN CLIMÁTICA

6.1 Precio Social del Carbono

☒ Mandatar Uso de PSC	☒ Inventarios GEI por Proyecto
• Definir tipologías donde es obligatorio • Establecer valor anual actualizado • Protocolo de aplicación en evaluación social • Guía práctica con ejemplos	• Protocolo de cálculo de huella de carbono • Factores de emisión por materiales • Factores de emisión por etapa (construcción/operación) • Plantilla de reporte estandarizada

6.2 Infraestructura Baja en Carbono

☒ Criterios de Materiales Bajos en Carbono	☒ Análisis de Ciclo de Vida (ACV)	☒ Economía Circular
• Listado de materiales alternativos • Factores de emisión comparativos • Análisis de	• Metodología simplificada para megaproyectos • Software/herramienta de cálculo • Capacitación en ACV	• Protocolo de gestión de RCD • Valorización de emisiones evitadas • Banco de materiales

- costo-efectividad - Incentivos para su uso	Aplicación piloto en proyectos	- reciclados - Meta: % de material reciclado al 2030
---	--	---

4-4.3. Consideraciones generales de implementación

7. MONITOREO Y MEJORA CONTINUA

7.1 Indicadores de Seguimiento

☑ Indicadores Financieros	☑ Indicadores Técnicos	☑ Indicadores de Desempeño	☑ Indicadores Institucionales
% CAPEX con etiqueta clima/resiliencia - Monto co financiamiento climático movilizado - Costo preparación proyectos resilientes vs tradicionales % inversión preventiva vs reactiva	- N° proyectos con tablas de referencia aplicadas - N° proyectos con análisis multiescenario - N° proyectos con PSC aplicado - N° proyectos usando repositorio de datos	- Reducción tiempo interrupción (corredores piloto) - Cumplimiento niveles de servicio (D+E+M) % SbN en cartera aprobada - N° proyectos con MRV post-obra	- Funcionarios capacitados en resiliencia - Tiempo promedio aprobación proyectos con CC - Satisfacción equipos técnicos con herramientas - N° convenios activos con instituciones climáticas

7.2 Sistema de Alertas

☑ Actualización de Parámetros	☑ Revisión de beneficios
- Revisión anual de factores de intensificación - Actualización trienal de proyecciones climáticas - Revisión quinquenal de metodología completa	- Actualización de costos de referencia - Actualización de beneficios por adaptacion climatica - Ampliación de beneficios por adaptacion climatica

7.3 Gestión del Conocimiento

☒ Documentación Sistemática	☒ Comunidad de Práctica
• Registro de proyectos evaluados con BSAC • Sistematización de ajustes y mejoras • Publicación de casos exitosos • Informes anuales de implementación	• Red de evaluadores capacitados • Foro técnico virtual • Webinars de actualización • Intercambio con experiencia internacional

8. CRONOGRAMA MAESTRO

Actividad	Meses 1-3	Meses 4-6	Meses 7-12	Meses 13-24	Permanente
Preparación institucional					
Fortalecimiento técnico					
Pilotaje y validación					
Implementación gradual					
Atención brechas críticas					
Mitigación climática					
Monitoreo y mejora					

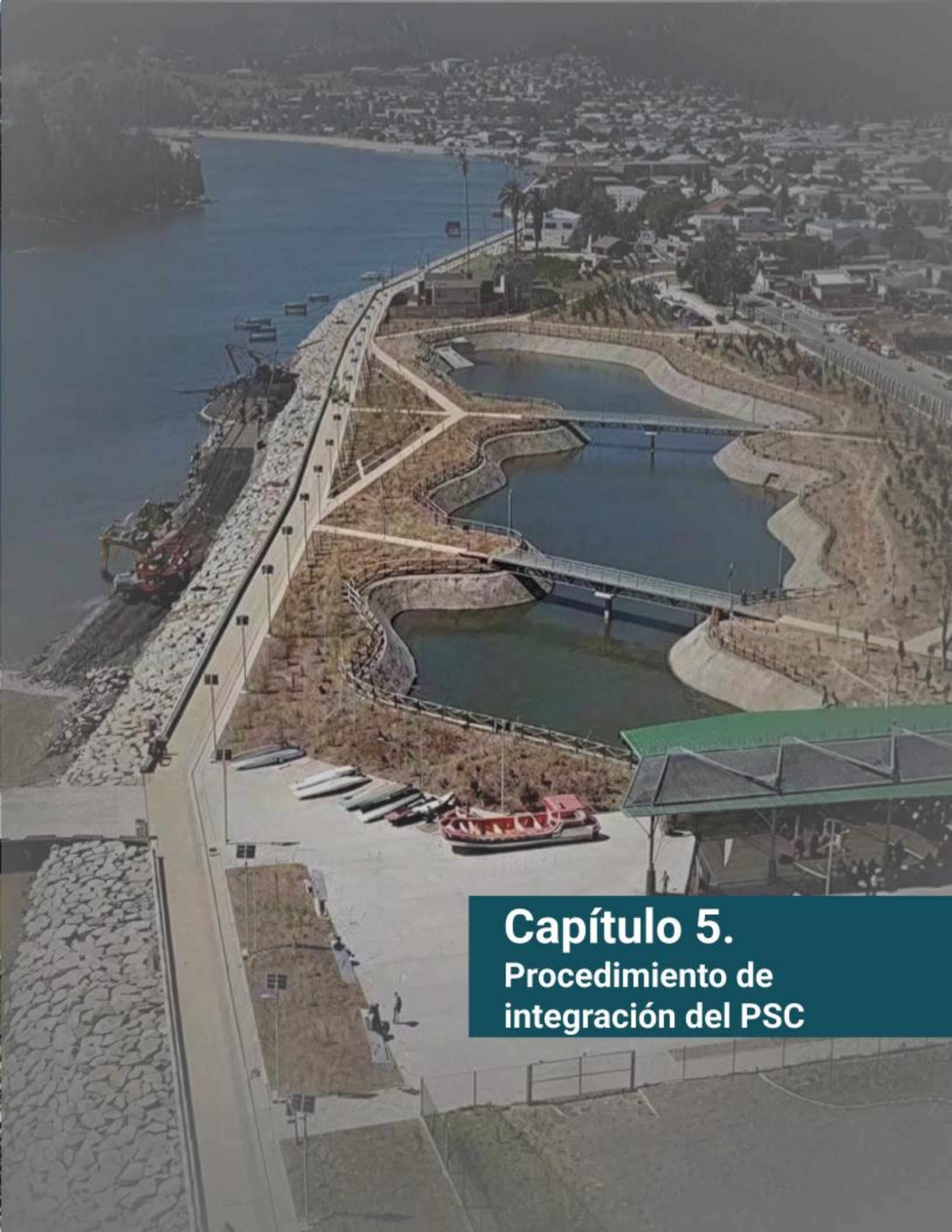
9. RIESGOS Y MITIGACIÓN

Riesgo	Probabilidad	Impacto	Mitigación
Resistencia al cambio institucional	Media	Alto	Comunicación temprana, involucramiento actores clave, demostración de valor agregado
Falta de datos climáticos	Media	Alto	Convenios tempranos con instituciones técnicas, uso de datos proxy validados
Capacidades técnicas insuficientes	Alta	Medio	Programa robusto de capacitación, certificación, apoyo externo inicial

Desalineamiento MOP-MDSF	Media	Alto	Comité técnico conjunto, protocolo de coordinación, revisiones periódicas
Sobrecarga administrativa	Media	Medio	Implementación gradual, simplificación según complejidad, automatización
Desactualización de parámetros	Media	Medio	Sistema de alertas, revisión programada, responsables designados

10. FACTORES CRÍTICOS DE ÉXITO

☐ Compromiso político y liderazgo	Respaldo explícito de autoridades MOP y MDSF
☐ Coordinación interinstitucional efectiva	Comité técnico funcionando con reuniones regulares
☐ Capacitación robusta	Establecer una meta (%+) de profesionales clave capacitados
☐ Datos climáticos accesibles	Repositorio operativo con convenios firmados por instituciones involucradas.
☐ Validación temprana	Pilotos exitosos que demuestren valor de la metodología
☐ Comunicación continua	Difusión de avances, casos exitosos y lecciones aprendidas
☐ Flexibilidad y adaptación	Disposición a ajustar según retroalimentación y resultados, características climáticas y realidad nacional.
☐ Recursos asegurados	Recursos humanos, financieros, y tecnológicos comprometidos para asegurar implementación



Capítulo 5.

Procedimiento de integración del PSC

5. Procedimiento de integración del Precio Social del Carbono

5-1. Diagnóstico

El diagnóstico se desarrolla a partir de la revisión de información (normas, metodologías y procedimientos), y el análisis participativo compuesto por entrevistas a actores claves.²³ Los principales documentos revisados incluyeron: La Guía de Medición de Huella de Carbono para proyectos del MOP (MOP, 2025a); La estimación del PSC para la evaluación de la inversión pública en Chile (CEPAL, 2024); y La Metodología para la estimación del PSC en Chile y los países de América Latina y el Caribe (CEPAL, 2021). Las entrevistas grupales a actores claves incluyeron el desarrollo de, una entrevista para cada dirección del MOP involucrada en el proyecto, incluyendo la Dirección de Vialidad (DV), Dirección de Obras Portuarias (DOP) y Dirección de Obras Hidráulicas (DOH), y un grupo focalizado en funcionarios del Ministerio de Desarrollo Social (MDSF), específicamente el departamento de metodologías así como evaluadores de proyectos.

El objetivo del diagnóstico es establecer una línea base sobre el estado actual de la integración de la mitigación climática en el MOP y su interacción con el SNI, identificando prácticas existentes y brechas institucionales, técnicas y procedimentales que condicionan su implementación, cuantificación y registro en el ciclo de inversión pública.

A nivel del MOP, se han identificado una serie de medidas y buenas prácticas que, aunque orientadas principalmente a la eficiencia en costes, inciden de manera directa en la reducción de la huella de carbono. La selección de canteras próximas al emplazamiento de la obra constituye una práctica en vías de consolidación, cuyo objetivo principal es la optimización del gasto logístico; no obstante, este enfoque permite, adicionalmente, minimizar el consumo de combustibles fósiles y, en consecuencia, las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

De igual modo, la integración de sistemas de iluminación solar y tecnologías energéticamente eficientes en proyectos de infraestructura disminuye la dependencia de la red eléctrica convencional y la huella de carbono asociada.

En materia de gestión de Residuos de Construcción y Demolición (RCD), se ha robustecido el control mediante la exigencia de informes específicos, conforme a las directrices de la DGOP, lo que fomenta una trazabilidad más precisa de los residuos generados.

Las entrevistas grupales realizadas con funcionarios del MOP evidencian la existencia de diversas acciones que contribuyen a la mitigación del cambio climático. Sin embargo, estas iniciativas se implementan de forma aislada y carecen de mecanismos formales de cuantificación. La denominada “inversión baja en carbono” se materializa de manera no sistemática en la gestión técnica de determinados servicios ministeriales, pero no dispone de

²³ En las entrevistas participaron funcionarios de las tres direcciones del MOP: DV, DOP y DOH, y el equipo del MDSF compartiendo su visión sobre los temas consultados.

un registro administrativo que posibilite su valoración y monitoreo en los procesos de evaluación social del SNI. De esta forma, a partir de las entrevistas realizadas, se identifican elementos comunes transversales a todas las direcciones del MOP: la incorporación de medidas de mitigación climática depende actualmente de la voluntad e iniciativa individual de los profesionales y no de una exigencia normativa o estructural; la metodología de evaluación actual del Sistema Nacional de Inversiones opera como una barrera, ya que no logra capturar ni premiar económicamente los beneficios ambientales (como ahorros operativos) frente a los mayores costos iniciales; y existe un consenso en que el mecanismo más efectivo e inmediato para forzar un cambio es la inclusión de exigencias estandarizadas en los Términos de Referencia (TDR) de las licitaciones, sumado a la necesidad de contar con bases de datos oficiales para convertir datos constructivos en emisiones cuantificables.

A nivel particular, en la DV el principal tema levantado es la brecha estructural donde solo un 10% de los proyectos interurbanos pasa por la fase de preinversión, lo que impide evaluar alternativas bajas en carbono de forma temprana, sumado a que el beneficio por "ahorro de tiempo" opaca cualquier intento de valorizar el PSC bajo las metodologías actuales. Por su parte, en la DOP destaca la frustración de que iniciativas exitosas y voluntarias (como energía solar a costo cero en caletas o uso de plásticos reciclados) no sean recompensadas por la evaluación Costo-Eficiencia, la cual castiga la mayor inversión inicial e ignora el ahorro operacional, enfrentando además barreras logísticas en la cadena de suministro al exigir materiales certificados. Finalmente, en la DOH se subraya una fuerte inercia institucional, lo que, sumado a su alta dependencia de consultores externos, provoca que si el cálculo de huella de carbono no se obliga explícitamente en los TDR desde el inicio, la mitigación simplemente no se incorpore, visualizando como principal oportunidad la creación de "Bancos de Materiales" regionales para fomentar la economía circular y reducir la huella de transporte.

Ver [Anexo 5-1](#), con la siguiente información:

- Entrevistas grupales a actores claves
- Listado de documentos revisados

5-1.1. Prácticas Transversales

En el ámbito ministerial, se han identificado medidas transversales aplicables a proyectos de infraestructura sin distinción de la tipología a la cual pertenece, las cuales generan beneficios directos en la reducción de la huella de carbono como los mencionados a continuación:

- Selección de canteras por proximidad: Esta práctica, habitual en los proyectos ejecutados por contratistas del MOP, consiste en la obtención de materiales (roca, áridos) en fuentes geográficamente próximas a la obra, reduciendo así los costos y el consumo de combustible asociado al transporte, con la consiguiente reducción de emisiones de GEI.
- Iluminación solar y eficiencia energética: La incorporación de luminarias solares y tecnologías eficientes reduce la dependencia de la red eléctrica convencional, contribuyendo a una menor huella de carbono en los proyectos de infraestructura.

- Gestión de RCD: La exigencia de informes de RCD, conforme a las instrucciones de la DGOP, facilita la trazabilidad y el control de los residuos generados en obra.

5-1.2. Prácticas de Mitigación Específicas por Dirección Técnica

En muchos casos las iniciativas de mitigación implementadas por las direcciones técnicas del MOP constituyen un avance relevante hacia la infraestructura baja en carbono. No obstante, su aplicación responde principalmente a requisitos técnicos en licitaciones y no siempre se reflejan en la rentabilidad social de los proyectos. La DV destaca en la incorporación de materiales bajos en carbono incorporado, mientras que la DOH y la DOP concentran sus esfuerzos en la optimización de recursos naturales y la logística regional. A continuación, se expone el diagnóstico de estas prácticas, conforme a la información recopilada en entrevistas grupales:

Dirección de Vialidad: Liderazgo en materiales e innovación

- Acero reciclado y Declaraciones Ambientales de Producto (DAP): En determinados proyectos, se exige el uso de barras de refuerzo recicladas en puentes como requisito en las bases de licitación, validando su impacto a través de DAP, lo que permite la trazabilidad de las emisiones evitadas.
- Reciclaje de pavimentos (RAP): La incorporación progresiva de esta práctica en los términos de referencia permite evitar la extracción de nuevos áridos y reduce significativamente las emisiones derivadas del transporte.
- Asfalto-caucho: Mediante proyectos piloto con neumáticos fuera de uso, se busca tanto la mitigación de residuos como la mejora en la sostenibilidad de la red vial interurbana, permitiendo aumentar la resistencia a la fatiga y evitar las deformaciones plásticas.

Dirección de Obras Hidráulicas: Mitigación pasiva y soluciones basadas en la naturaleza (SbN)

- Bancos de materiales: La obtención de materiales directamente de canteras próximas para defensas fluviales permite una reducción pasiva de emisiones, al minimizar el uso de maquinaria y el transporte pesado.
- Soluciones basadas en la naturaleza (SbN): Si bien existe interés en defensas con vegetación, estas alternativas enfrentan barreras por su mayor costo inicial y por la falta de incorporación en los análisis económicos de beneficios como la regulación hídrica, la biodiversidad y el secuestro de carbono, que son servicios ecosistémicos pero no siempre se contabilizan como medidas de mitigación en evaluaciones financieras.

Dirección de Obras Portuarias: Logística y gestión de excedentes

- Reutilización de excedentes: El traslado de áridos sobrantes de una obra a proyectos cercanos de protección costera optimiza la logística regional y reduce el consumo de combustibles fósiles asociados al transporte a vertederos.

- Eficiencia energética: Destaca la implementación de energía renovable (solar) en caletas de pescadores e iluminación de áreas de acceso público en el borde costero.

5-1.3. Brechas Identificadas

Las reuniones con el MDSF y las entrevistas grupales con funcionarios del MOP evidencian la existencia de obstáculos que dificultan la integración sistemática de medidas de mitigación climática en la evaluación social de los proyectos, en particular de los proyectos de puentes. Estas brechas provocan que las prácticas de mitigación, incorporadas progresivamente en las etapas de diseño y construcción, no se reflejan como aportes a los objetivos sectoriales del MOP para contribuir a los compromisos en la reducción de emisiones a nivel país, lo que por un lado señala el reto de contabilizar emisiones y por otro la necesidad de una metodología que lo haga posible. Asimismo, las decisiones de mitigación suelen adoptarse de manera tardía, lo que limita la evaluación de alternativas sostenibles en las etapas de preinversión, restringiendo la planificación de proyectos con menor huella de carbono y la posibilidad de demostrar una mayor rentabilidad asociada a la mitigación de GEI.

Brechas Institucionales y operativas para la acción climática

Si bien el diagnóstico evidencia que diversas direcciones del MOP han comenzado a incorporar medidas con efectos de mitigación —por ejemplo en decisiones de materiales, eficiencia energética, logística de faenas y gestión de residuos—, estos avances tienden a operar como iniciativas puntuales, poco sistematizadas y difíciles de traducir en resultados cuantificables dentro del SNI. En paralelo, las dinámicas institucionales al interior del MOP y su interacción con el sistema de evaluación social siguen siendo un desafío estructural: persiste una cultura administrativa en el MDSF en la que la innovación sin un respaldo normativo y metodológico explícito se percibe como un riesgo, lo que incentiva una aplicación conservadora de criterios ambientales. En este contexto, la principal limitación no radica únicamente en contar con un PSC actualizado, sino en la necesidad de mejorar la coordinación interministerial efectiva y de instrumentos metodológicos del MDSF que hagan operativa —y comparable entre proyectos— la infraestructura baja en carbono, incorporando exigencias, procedimientos y datos mínimos (p. ej., inventarios GEI, criterios de ciclo de vida y parámetros estandarizados). Sin estas actualizaciones, las medidas de mitigación levantadas quedan frecuentemente fuera de la valoración social, debilitando los incentivos para su adopción temprana, su trazabilidad y su escalamiento en la cartera de inversión pública.

En este contexto, se observa una brecha entre las orientaciones estratégicas y su aplicación cotidiana: con frecuencia, aquello que cuenta con anclaje normativo y procedimental es lo que se termina implementando con mayor consistencia.

Adicionalmente, la preferencia institucional por soluciones convencionales que sí tienen metodologías de evaluación establecidas y validadas dentro del SNI, junto con el peso que tiene el costo en la evaluación económica, puede llevar a que innovaciones sostenibles y SbN pierdan competitividad por su mayor inversión inicial y por la valorización aún limitada de

beneficios ecosistémicos por la falta de metodologías existentes. A esto se suma que la falta de capacidades técnicas internas para cuantificar emisiones incrementa la dependencia de consultores externos y reduce la posibilidad de revisión y control sobre los datos ambientales presentados.

Por otra parte, la coordinación interna y la gestión documental aparecen como ámbitos con oportunidades de mejora. La transferencia de conocimiento entre unidades y equipos ejecutores se dificulta cuando no existen repositorios centralizados o protocolos estandarizados, especialmente considerando la rotación de personal. En la práctica, puede suceder que parte de la información se resguarde en repositorios no institucionales (por ejemplo, dispositivos o carpetas personales), lo que, sumado a los procesos habituales de movilidad y recambio de equipos, puede dificultar el acceso oportuno a antecedentes relevantes. Asimismo, la heterogeneidad de herramientas, junto con la ausencia de un sistema centralizado y de protocolos comunes, puede complejizar la reconstrucción del historial de iniciativas que suelen extenderse por varios años. Finalmente, el seguimiento post-inversión aparece como un ámbito con margen de mejora, en la medida en que su fortalecimiento permitiría verificar de manera más sistemática el cumplimiento y desempeño de las medidas de mitigación.

En esa línea, herramientas como la Guía de Huella de Carbono (MOP, 2025a) no siempre se integran de manera sistemática en los TdR, aunque actualmente el MOP indicó que se está haciendo el esfuerzo para lograrlo. Asimismo, la falta de seguimiento post-inversión limita la verificación del cumplimiento de medidas de mitigación y la generación de aprendizajes para proyectos futuros.

Finalmente, el modelo actual de evaluación social puede no capturar plenamente el valor de la inversión baja en carbono, ya que los beneficios tradicionales suelen dominar el cálculo de rentabilidad social (por ejemplo, ahorro en tiempo de viaje en proyectos de puentes). En esos casos, si un proyecto obtiene “Recomendación Satisfactoria” (RS) basado en el cálculo de indicadores tradicionales, no existe un incentivo práctico para cuantificar beneficios ambientales, lo que puede reducir su visibilidad ante el Ministerio de Hacienda y dificultar el acceso a instrumentos de financiamiento disponible, como por ejemplo los bonos soberanos sostenibles.²⁴ Del mismo modo, la omisión de la inclusión de medidas de mitigación durante la fase de preinversión puede limitar la comparación de alternativas con menor huella de carbono (como ocurre en relación a algunos proyectos de vialidad).

Brechas Técnicas y de Recursos en Formuladores y Evaluadores

El análisis de las brechas técnicas y de recursos en los procesos de inversión pública revela una disociación entre la disponibilidad de datos y la operatividad real de las herramientas de medición y valorización.

Herramientas como el Acceso a Bases Ambientales y Costos (ÁBACO) diseñadas para presupuestar precios sociales y ambientales, presentan obsolescencia y datos desactualizados. El software de Eficiencia Energética y Costos Sociales en Proyectos de Edificación (ECSE) es

²⁴ Bonos Sostenibles, Ministerio de Hacienda de Chile [\[ENLACE\]](#)

eficaz para medir la eficiencia energética en edificación pública, pero no resulta aplicable en infraestructura civil. El uso del modelo Highway Development and Management (HDM-4) en el sector vial está restringido por la falta de licencias y capacitación de los funcionarios que conozcan funcionamiento, en particular del módulo para el cálculo de las emisiones de GEI.

Existe además una brecha metodológica para convertir las unidades tradicionales de ingeniería en métricas de carbono; por ejemplo, a pesar de que existen procedimientos para transformar movimientos de tierra en consumo energético y emisiones, estos aún deben ser estandarizados y validados por el MDSF.

5-1.4. Visión Estratégica para el Cierre de Brechas e Impulso a la Infraestructura Baja en Carbono

Para subsanar las brechas detectadas, se proponen a continuación líneas estratégicas destinadas a incorporar la mitigación en todas las fases del ciclo de vida de los proyectos de infraestructura, incluyendo preinversión. Algunas de estas estrategias se orientan a la sistematización y perfeccionamiento de las prácticas actuales, mientras que otras buscan establecer nuevos procedimientos e iniciativas.

Estandarización y Herramientas Procedimentales

- Anexos estandarizados en TdR:²⁵ Incorporar “Anexos Complementarios de Huella de Carbono” como requisito obligatorio en todos los TdR de licitaciones de consultoría, tanto en etapas preinversionales como en diseño y construcción. Esto mandataría a las consultoras que se adjudiquen los proyectos a entregar datos de emisiones procesados, preparados para su uso en la evaluación social. La incorporación de esta obligación debe ser incorporada de manera paulatina, diferenciando el tipo de información requerida por tipo de proyecto y por fase de análisis pre inversional que se esté llevando a cabo.
- Uso obligatorio de la Guía de Huella de Carbono (MOP, 2025a):² El MOP dispone de una guía que estandariza el cálculo de emisiones para obras hidráulicas y otras obras de infraestructura. Es necesario exigir su uso al interior del MOP, lo cual debe ser de manera paulatina, en la medida que se capacite y se provean de herramientas técnicas (software) a los inspectores fiscales, para que puedan desempeñar funciones técnicas y fiscalizar resultados.
- Metodología de conversión unificada: Definir un procedimiento sencillo que permita a cualquier ingeniero convertir los principales ítems de presupuesto (movimiento de tierras, asfalto, hormigón, etc.) en emisiones de CO₂ mediante factores validados por entidades oficiales.

²⁵ Estos puntos ya están siendo abordados por la DGOP

Innovación en Gestión de Materiales y Logística

- Fomentar reutilización de excedentes de construcción: Implementar centros regionales o por macro zona para el acopio y gestión de excedentes de construcción, con el fin de reducir su disposición en vertederos y habilitar la reutilización de áridos y rocas entre direcciones. Esto permitiría optimizar el uso de materiales, disminuir la extracción de nuevos insumos y reducir emisiones asociadas al transporte y a la explotación de canteras.
- Fomento al uso de materiales con menor huella de carbono: Analizar la posibilidad de modificar el reglamento de licitaciones para otorgar puntuación adicional a las propuestas que incluyan materiales de baja huella de carbono incorporada o que consideren el uso de energías renovables para la ejecución de la obra.

Coordinación y Capacitación

- Incorporación y fortalecimiento de las Unidades de Medio Ambiente: Viabilizar que las Unidades de Medio Ambiente de algunas direcciones del MOP puedan brindar apoyo transversal a las áreas técnicas, validando los cálculos de mitigación en los casos en que los inspectores fiscales no dispongan de los conocimientos necesarios.
- Coordinación con el MDSF: Potenciar las mesas de trabajo existentes o evaluar la creación de nuevas instancias de coordinación con los analistas del MDSF para: 1) validar contenido de la Guía de Huella de Carbono, como documento base para la estimación de los GEI en los proyectos MOP; 2) establecer procedimientos entre ambos ministerios para implementar exigencia de medición de GEI en proyectos del MOP y su incorporación dentro de los procesos de evaluación social de dichos proyectos, incorporándolo dentro de las RIS sectoriales; 3) validar metodologías que consideren beneficios ambientales no tradicionales, promoviendo que los proyectos MOP integren consideraciones climáticas y sumen beneficios adicionales para establecer rentabilidad social.
- Coordinación con MOP - MDSF - MMA: establecer una instancia entre estos tres ministerios para validar técnicamente las fuentes oficiales que se usen como base para la estimación de los GEI en los proyectos del MOP, considerando para ello las distintas etapas de análisis pre inversional

Utilización marginal del PSC

Las limitaciones detectadas evidencian una pérdida de oportunidades para impulsar, de manera sistemática, infraestructura pública baja en carbono, aun cuando existen esfuerzos y buenas prácticas implementadas de forma aislada por distintas direcciones del MOP. En efecto, las entrevistas grupales dan cuenta de que “estas iniciativas se implementan de forma aislada y carecen de mecanismos formales de cuantificación”, por lo que la denominada “inversión baja en carbono” no cuenta con un registro que habilite su valoración y monitoreo en la evaluación social del SNI. Esta desconexión entre práctica y evaluación reduce los incentivos para integrar tempranamente alternativas y diseños de menor huella, y termina por invisibilizar los beneficios climáticos en la toma de decisión pública.

En este contexto, la brecha no se explica por la existencia (o actualización) del PSC, sino por su baja aplicabilidad operativa en las tipologías de infraestructura MOP analizadas en esta consultoría. El diagnóstico es explícito al señalar que la evaluación social vigente desincentiva el registro y la cuantificación de beneficios ambientales: si un proyecto logra la recomendación satisfactoria con indicadores tradicionales, no existe incentivo para cuantificar los beneficios ambientales, invisibilizando la inversión baja en carbono. Como resultado, el PSC tiende a permanecer subutilizado: el informe concluye que el PSC se encuentra subutilizado en la evaluación social de proyectos de infraestructura pública, aplicándose de forma explícita y sistemática principalmente en algunos proyectos de transporte masivo.

Por lo tanto, mientras no se generen incentivos normativos claros ni definiciones para la operacionalización de metodología(s) de evaluación social para la incorporación de medidas de mitigación por parte del MDSF (p. ej., exigencias mínimas de inventarios GEI, protocolos estandarizados y factores de emisión comparables), el PSC seguirá operando como un instrumento de uso marginal para las tipologías evaluadas, limitando la capacidad del SNI para priorizar alternativas de proyectos con menor huella y dejando de lado proyectos no rentables que podrían llegar a serlo si se consideran los beneficios sociales adicionales por el PSC.

En suma, la utilización marginal del PSC en la evaluación de proyectos de inversión pública constituye una barrera estructural que hoy no contribuye a la redirección de los recursos fiscales hacia proyectos de infraestructura con menor huella de carbono, ya que su falta de aplicación sistemática impide que cumpla su función de orientar recursos. En la práctica, la mitigación continúa como un beneficio secundario o invisible dentro de la rentabilidad social, debilitando el impulso a soluciones de infraestructura baja en carbono más allá de esfuerzos puntuales del MOP.

5-1.5. Matriz de síntesis de principales brechas y oportunidades detectadas

La siguiente tabla presenta una síntesis de las principales brechas y oportunidades técnicas detectadas mediante el desarrollo del diagnóstico.

Institución / Dirección	Principales Desafíos	Oportunidades de Mejora
Dirección de Vialidad (DV)	- Medidas de mitigación aplicadas de forma aislada y sin cuantificación consistente en SNI. - Ausencia de metodología estandarizada para traducir ítems de obra (mov. tierras, asfalto, hormigón) a CO₂ con factores validados.	- Incorporar “Anexos Complementarios de Huella de Carbono” obligatorios en TdR (perfil, diseño, construcción). - Coordinar con MDSF para reconocer beneficios climáticos en ACE/ACB y activar uso efectivo del PSC.
Dirección de Obras Portuarias (DOP)	- Falta de repositorios/documentación centralizada; rotación de personal y pérdida de conocimiento. - Beneficios climáticos no influyen en priorización si el proyecto ya logra RS por criterios tradicionales.	- Estandarizar energía solar/EE en caletas y espacios públicos con métricas de CO₂ evitado. - Implementar repositorio central y protocolos de gestión documental; seguimiento post-inversión.
Dirección de Obras Hidráulicas (DOH)	- SbN y defensas con vegetación enfrentan mayor CAPEX y falta de valorización monetaria de beneficios ecosistémicos. - Capacidades técnicas limitadas para ACV y GEI.	- Centros regionales para reutilización de excedentes aplicados a defensas fluviales. - Estandarizar registro de decisiones logísticas (proximidad de canteras) como reducción de emisiones.
Ministerio de Desarrollo Social y Familia (MDSF)	- Cultura conservadora ante innovaciones sin respaldo normativo explícito; falta de instrumentos operativos para integrar PSC y GEI. - Falta de validación/estandarización para traducir actividades, procesos y productos a CO₂.	- Fortalecer coordinación interministerial (MOP–MDSF) y mesas técnicas para actualizar guías y plantillas SNI - Validar metodología de conversión simple de ítems de obra a CO₂; publicar factores oficiales.



5-2. Infraestructura y mitigación climática

5-2. Infraestructura Y Mitigación Climática

Considerando los hallazgos del diagnóstico realizado en relación la integración de medidas de mitigación para promover el desarrollo de una infraestructura baja en carbono, es posible afirmar que en términos generales, aunque la evaluación de inversiones públicas en Chile (MDSF, 2025a) exige integrar criterios ambientales en la evaluación de proyectos, en el sentido de identificar y considerar los impactos ambientales relevantes en el análisis y en la decisión, no impone de manera uniforme que en todo tipo de proyectos que estos impactos deban monetizarse y cuantificarse exhaustivamente. Esto deriva en la pérdida sistemática de la valoración de los beneficios vinculados tanto a la adaptación como a la mitigación climática.

El objetivo de este capítulo es efectuar un análisis del PSC y su utilización en la evaluación social de proyecto. Para esto se desarrollan dos secciones principales. Primero un análisis del PSC y su utilización en la evaluación social de proyectos, incluyendo su aplicación, incorporación y brechas para su integración, para explorar las oportunidades de valoración de las externalidades relacionadas con las emisiones GEI a lo largo del ciclo de vida del proyecto, y su aplicabilidad en las obras que desarrolla el MOP. Segundo, un análisis de aplicabilidad de instrumentos/medidas para la mitigación climática en obras de infraestructura para identificar la pertinencia técnica y normativa de integrar criterios de descarbonización en el origen de los proyectos, considerando las tres diferentes tipologías que competen esta consultoría.

Ver [Anexo 5.2](#), con la siguiente información:

- Aplicabilidad por tipología
- Síntesis por tipología e instrumentos normativos

5-2.1. Análisis del Precio Social del Carbono y su utilización en la Evaluación Social de Proyectos

Consideraciones Generales

En relación a la mitigación climática y el desarrollo de proyectos de infraestructura bajos en carbono, el PSC constituye una herramienta relevante para avanzar en este proceso y contribuir a cerrar parte de las brechas identificadas en el diagnóstico. La conceptualización y aplicación de dicho instrumento ha evolucionado en el tiempo para alinearse tanto con los compromisos internacionales como con la realidad nacional, sin embargo su aplicación en el ámbito de la infraestructura pública aún es limitada.

Definición del PSC

El PSC, desde la perspectiva de organismos internacionales, se define principalmente en términos de los daños económicos asociados a la emisión de una tonelada adicional de dióxido de carbono en un periodo determinado (BM, 2017). Este valor monetario refleja las

consecuencias negativas futuras, incluyendo efectos sobre la salud, la productividad agrícola, daños en infraestructuras por eventos climáticos extremos y la pérdida de servicios ecosistémicos. Instituciones como el Fondo Monetario Internacional y modelos de evaluación integrada emplean este concepto para orientar la toma de decisiones, internalizando el costo real de la contaminación para la sociedad actual y futura.

Desde la óptica de organismos como la CEPAL, el PSC se concibe como un "valor sombra" o precio de referencia que los Estados utilizan para corregir fallos de mercado en la evaluación de infraestructuras y políticas públicas (CEPAL, 2024). De este modo, se garantiza que los proyectos sean valorados no solo por su retorno financiero, sino también por su impacto en el bienestar social y su contribución a los objetivos de desarrollo sostenible, facilitando la transición hacia economías bajas en carbono.

Adicionalmente, el enfoque basado en el costo marginal de abatimiento, adoptado por Chile a partir de 2025, determina el PSC en función del costo necesario para alcanzar una meta específica de reducción de emisiones, como la carbono neutralidad. En este contexto, el PSC representa el costo de la última unidad de reducción requerida para cumplir los compromisos internacionales, reflejando el esfuerzo económico necesario para la descarbonización conforme a los objetivos nacionales (MDSF, 2025b).

Aplicaciones del PSC

El PSC actúa como un instrumento económico destinado a proporcionar información relevante para la toma de decisiones, fundamentalmente en la valoración de los daños económicos derivados de la emisión de una tonelada adicional de carbono. Su principal uso se sitúa en la evaluación de proyectos, aportando información sobre la rentabilidad social de las inversiones públicas al considerar tanto el costo financiero como el impacto climático.

- **Diseño normativo:** El PSC permite determinar la magnitud adecuada de regulaciones ambientales o gravámenes al carbono, asegurando que el costo de cumplimiento no exceda los beneficios sociales derivados de la mitigación de daños climáticos.
- **Orientación de la inversión privada:** Funciona como precio sombra para guiar a empresas y organismos internacionales hacia la adopción de tecnologías limpias, internalizando el costo real de los combustibles fósiles.
- **Justificación de incentivos:** Facilita la cuantificación del ahorro fiscal asociado al fomento de energías renovables y la eficiencia energética.

Incorporación del PSC en la Evaluación Social de Proyectos

En la evaluación de inversiones, el PSC se conceptualiza como un precio sombra que permite internalizar la externalidad negativa de las emisiones de GEI. Su función principal es corregir las distorsiones derivadas de la discrepancia entre los costos privados y los daños sociales globales.

- **Internalización de externalidades:** El PSC asigna un valor monetario al cambio marginal en el bienestar social asociado a una tonelada adicional de CO₂ equivalente, incrementando los costos sociales de los proyectos emisores y valorizando positivamente aquellos que reducen emisiones.
- **Valor actual descontado:** Representa el valor presente de todos los daños futuros evitados por la no emisión de una tonelada de CO₂.
- **Ajuste del flujo de beneficios netos:** En el cálculo del Valor Actual Neto Social (VANS), las emisiones anuales estimadas se multiplican por el PSC vigente y se restan de los beneficios sociales, ajustando así la rentabilidad social de los proyectos en función de su impacto climático.

Contexto Nacional del Uso del Precio Social del Carbono en la Evaluación Social de Proyectos de Inversión Pública

Evolución de la Valoración del PSC

La evolución del PSC en Chile evidencia una transición desde una valoración basada en mercados externos hacia una métrica alineada con los compromisos climáticos nacionales. El MDSF, en el marco del SNI, ha implementado distintas metodologías en tres etapas principales:

Tabla 5-2.1. Evolución del PSC en Chile.

Fuente: GeoAdaptive, 2026. Con base en CEPAL, 2021 y 2024.

Período	Metodología	Valor Referencial (US\$/tCO _{2equiv})	Contexto
2013-2015	Precio de Mercado (MDL)	US\$4 - US\$8	Basado en bonos de carbono.
2016-2017	Costo Marginal (MAC)	US\$32,5 - US\$40	Alineación con metas NDC iniciales.
2024-2050	MAC proyectado	US\$63,4 → US\$264,2	Meta de Carbono Neutralidad para 2050

El ajuste de la estimación oficial del PSC en Chile (que aumentó un 95% en 2024 respecto a 2017) responde a la necesidad de actualizar los costos de mitigación para cumplir con las metas de neutralidad de carbono al 2050 y la Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC), según informes de CEPAL y el Gobierno Chileno. Este proceso, apoyado por la CEPAL, busca incorporar un valor más alto en la evaluación de proyectos de inversión pública, incentivando tecnologías limpias y reflejando el impacto ambiental real (MDSF, 2024).

El reto consiste en implementar el PSC en proyectos de infraestructura en las etapas preinversionales de su evaluación, permitiendo valorar de forma adecuada los ahorros en emisiones y facilitando la aprobación de aquellas iniciativas con menor huella de carbono. En dichas fases se toman las decisiones técnicas y presupuestarias que determinan la continuidad y profundización de los estudios hasta la autorización de la ejecución. La utilización del PSC en la evaluación preinversional favorece el avance de proyectos con menor impacto ambiental.

Actualmente, el PSC se encuentra subutilizado en la evaluación social de proyectos de infraestructura pública, siendo aplicado en algunos proyectos ferroviarios y de Metro. Sin embargo, en estos casos, la cuantificación de mitigaciones se limita a la reducción de emisiones asociada a la disminución del flujo vehicular en la operación, sin considerar el carbono incorporado durante el ciclo de vida del proyecto (incluyendo materiales, construcción, y término de vida útil).

Brechas para la Integración del PSC en la Evaluación Social de Proyectos

Brechas metodológicas:

- La evaluación de proyecto se rige bajo pautas sectoriales que no exigen el cálculo explícito de emisiones de GEI y la ausencia de un protocolo vinculante impide la integración sistemática del PSC en todos los proyectos de infraestructura pública.
- Las metodologías sectoriales presentan un enfoque parcial, centrado en emisiones operativas, omitiendo el carbono incorporado y las emisiones durante la construcción y término de vida útil, siguiendo la tendencia nacional.
- La priorización del ahorro de tiempo de viaje en proyectos de puentes puede invisibilizar los beneficios ambientales, desincentivando la cuantificación de la mitigación si no modifica la decisión de inversión bajo indicadores tradicionales.
- Las SbN y los servicios ecosistémicos enfrentan barreras por la imposibilidad de monetizar beneficios secundarios como la captura de carbono y la protección de la biodiversidad, lo que limita su adopción frente a alternativas convencionales.
- La escasa integración de la mitigación climática en la fase de preinversión restringe la comparación de alternativas con menor huella de carbono.
- Muchos de los proyectos avanzan directamente a fase de diseño y ejecución, sin considerar estudios preinversionales

Marco institucional y regulatorio insuficiente:

- El actual marco institucional y normativo del SNI carece de incentivos y herramientas para la formulación y evaluación de proyectos de infraestructura baja en carbono desde las fases iniciales del ciclo presupuestario.
- En la elaboración de la Guía de Medición de Huella de Carbono para proyectos del MOP (MOP, 2025a) el MDSF no fue contraparte técnica. En este contexto es entonces que se tiene que esta Guía no está acompañada de una metodología oficial del MDSF homologada, la cual reconozca fuentes de datos oficiales para respaldar la cuantificación y valoración de medidas de mitigación en relación al SNI.
- La falta de criterios claros y datos incrementa la incertidumbre para los formuladores, desincentivando la presentación de proyectos bajos en carbono.
- El marco vigente limita la aplicación práctica del PSC al especificar procedimientos para valorar medidas de mitigación. Esta brecha, sumada a la aversión al riesgo, obstaculiza la adopción de metodologías innovadoras.
- La ausencia de procedimientos estandarizados dificulta la comparabilidad y fiabilidad de los cálculos de huella de carbono entre proyectos de la misma tipología.

Razones para promover un cambio de la normativa de evaluación desde el SNI

Para que los proyectos de infraestructura pública en Chile contribuyan efectivamente a la reducción de emisiones, es fundamental que esta contribución se valore dentro del SNI. Además de la definición del PSC ya existente, se requieren incentivos. Un incentivo clave sería la evaluación obligatoria de la huella de carbono para aquellos proyectos de infraestructura financiados con recursos públicos que lo ameriten, considerando el principio de proporcionalidad, umbrales por tipología y escala, junto a otras que las autoridades técnicas y ministeriales estimen pertinentes, promoviendo así la integración de medidas de mitigación.

El SNI, por lo tanto, además de hacer mención en su metodología general de la posibilidad que tienen los formuladores de incluir medidas de mitigación de GEI en las evaluaciones de sus proyectos, debería abordar el cómo incorporar esta consideración, ya sea en metodologías sectoriales específicas, o bien en la misma metodología general dejando aspectos específicos a los RIS sectoriales. Al mismo tiempo, debería tener en cuenta las particularidades de cada tipología de proyecto y establecer directrices claras para reducir la incertidumbre actual, considerando por cierto la fase de análisis pre inversional en que se encuentra el proyecto.

Asimismo, el SNI puede apoyar la integración de la Guía de Medición de Huella de Carbono para proyectos del MOP, utilizando este documento como base para proporcionar las fuentes y la información necesaria para operacionalizar la estimación de las mitigaciones desde las primeras fases del proyecto. Esto facilitaría la elección de alternativas con bajas emisiones de carbono. Integrar el análisis del ciclo de vida de manera temprana para determinar la huella de carbono permite una comparación exhaustiva de las opciones, promoviendo aquellas con menores emisiones y mayor beneficio social y económico.

Esta información preliminar es esencial para identificar proyectos con baja huella de carbono y asegurar que sus beneficios sean considerados tempranamente en el ciclo presupuestario. Un marco normativo oficial y obligatorio para la cuantificación y valoración de medidas de mitigación, junto con datos estandarizados, disminuiría la incertidumbre y estimularía la presentación de iniciativas bajas en carbono ante el SNI.

En conclusión, la actualización del marco normativo y metodológico del SNI es fundamental para fomentar la formulación y evaluación de alternativas de proyectos bajos en carbono desde las etapas más tempranas del ciclo presupuestario, por ejemplo a través de los NIP y RIS. Establecer incentivos para la cuantificación y reducción de emisiones, actualizar y operar metodologías oficiales, y contribuir a estandarizar las fuentes de datos a utilizar permitirá reducir la incertidumbre y facilitar la valoración de iniciativas que contribuyan a la mitigación del cambio climático. La estandarización de procedimientos y la incorporación obligatoria de la huella de carbono en proyectos con impactos relevantes, constituye una contribución relevante para avanzar en una toma de decisiones más informada desde una perspectiva de mitigación climática, alineada con los objetivos y compromisos ambientales del país, impulsando así la transición hacia una infraestructura pública baja en emisiones.

5-2.2. Análisis de aplicabilidad de instrumentos/medidas para la mitigación climática en obras de infraestructura

El objetivo principal del análisis de aplicabilidad de instrumentos de gestión del cambio climático y medidas de mitigación en la fase de preinversión es identificar la pertinencia técnica y normativa de integrar criterios de descarbonización en el origen de la inversión para tres diferentes tipologías que competen esta consultoría: Control aluvional y manejo de cauces, infraestructura vial (puentes), e infraestructura de protección de borde costero.

Los objetivos específicos son tres: (i) Diagnosticar prácticas vigentes y brechas de monitoreo; (ii) Evaluar la pertinencia de instrumentos y medidas del PSM; (iii) Definir el alcance de la gestión de la huella de carbono en fase de preinversión.

Para este fin, se desarrolla un ejercicio de interoperabilidad normativa, contrastando las directrices del PSM (MOP, 2025b) y la Guía de Huella de Carbono del MOP (MOP, 2025a) con los requerimientos técnicos de cada tipología. Este análisis permite determinar el grado de aplicabilidad de las medidas de mitigación climáticas, directas o indirectas, considerando medidas de eficiencia energética, energías renovables, materiales bajos en carbono, optimización de logística de transporte y economía circular, asegurando su contribución al cumplimiento de los presupuestos sectoriales asignados en ECLP (MMA, 2021) como se indica en la LMCC (MMA, 2022).

Marco metodológico para el análisis de aplicabilidad

El análisis de aplicabilidad se concibe como un proceso de evaluación multidimensional que busca determinar la factibilidad técnica, normativa e institucional de integrar medidas de mitigación en proyectos de infraestructura. Dado que el estudio se enfoca en la fase de preinversión, la metodología prioriza la identificación de criterios estratégicos y directrices generales que aseguren la alineación de la inversión pública con la LMCC. Para ello, se emplea un enfoque cualitativo basado en el cruce de tres pilares: los instrumentos de gestión del cambio climático vigentes (PSM y Guía de Huella), los requerimientos técnicos específicos de cada tipología de obra y la realidad operativa levantada directamente con las unidades técnicas del MOP.

Un insumo fundamental para este análisis, fue el proceso de entrevistas grupales a los equipos técnicos descrito en detalle en la sección del diagnóstico de este informe. Estas instancias permitieron validar la pertinencia de las medidas de mitigación desde la experiencia de quienes diseñan y hacen seguimiento a las licitaciones de las obras.

Criterios de evaluación y aplicabilidad

Para determinar la viabilidad de los instrumentos y medidas de mitigación en la fase de preinversión se definieron cuatro criterios transversales. Estos criterios permiten sistematizar la

información obtenida en las reuniones técnicas y aplicarlas de forma homogénea a las tres tipologías de infraestructura:

- a) **Aplicabilidad técnica y operativa:** Evalúa si la medida es físicamente integrable en el diseño de la obra (por ejemplo: Energías Renovables No Convencionales (ERNC) o materiales alternativos de bajo carbono). Considera si la tecnología está disponible en el mercado nacional y si las direcciones técnicas poseen los conocimientos para su implementación.
- b) **Aplicabilidad normativa y de gobernanza:** Analiza la alineación de la medida con la LMCC y PSM. Identifica si existen mandatos claros, si se requiere actualizar las bases de las licitaciones o si hay claridad sobre qué actor institucional debe liderar la acción.
- c) **Factibilidad de cuantificación y Medición, Reporte y Verificación (MRV):** Mide la capacidad de generar los datos en la fase de preinversión para estimar reducciones de emisiones. Se evalúa si la información actual permite usar la Guía de Huella MOP (MOP, 2025a) de forma directa o si se requiere levantar líneas de base adicionales.
- d) **Identificación de barreras críticas:** Criterio orientado a detectar obstáculos que podrían invalidar la aplicabilidad de una medida, por ejemplo, altos costos de inversión, falta de proveedores especializados o incompatibilidad con la función de seguridad de la infraestructura (especialmente crítico en el control aluvional).

Aplicación práctica de los criterios en fase de preinversión

Con el objetivo de transformar estos criterios definidos en una herramienta operativa y replicable en etapas de preinversión del MOP, se propone su incorporación como pauta estructurada de evaluación dentro de los estudios de perfil. En términos prácticos, los cuatro criterios anteriormente descritos pueden aplicarse como una matriz de chequeo cualitativa que acompañe la identificación y comparación de alternativas de solución, permitiendo explicitar tempranamente las oportunidad y restricciones de mitigaciones en cada tipo de obra de infraestructura.

De esta forma, la matriz utilizada para estos tipos de infraestructura se propone de la siguiente manera:

Tabla 5-2.2. Aplicación práctica de los criterios en fase de preinversión.

Fuente: GeoAdaptive, 2026.

Criterio	Momento de aplicación en perfil	Instrumento de incorporación	Ítems sugeridos para matriz de chequeo
Aplicabilidad técnica y operativa	Formulación preliminar de alternativas	Informe de perfil / Capítulo técnico	- ¿La medida compromete la función estructural o de seguridad? - ¿Existe tecnología disponible en el mercado nacional? - ¿La dirección técnica cuenta con experiencia previa? - ¿Requiere estudios adicionales de ingeniería?
Aplicabilidad normativa y de gobernanza	Revisión de coherencia estratégica	Términos de Referencia (TdR) y bases futuras	- ¿La medida se alinea con LMCC y PSM? - ¿Requiere modificación de bases tipo? - ¿Existe actor responsable definido? - ¿Es coherente con competencias de la dirección sectorial?
Factibilidad de cuantificación y MRV	Evaluación preliminar de impactos	Ficha de huella preliminar / anexo técnico	- ¿Existen cubiccaciones globales? - ¿Se pueden estimar distancias de transporte? - ¿Es posible aplicar la Guía de Huella MOP? - ¿Permite valorización preliminar con PSC?
Identificación de barreras críticas	Análisis de riesgos en etapa conceptual	Apartado de riesgos o restricciones	- ¿Existen restricciones ambientales o territoriales? - ¿Hay disponibilidad de proveedores? - ¿Implica sobre costos significativos? - ¿Existe reticencia técnica o institucional identificada?

Análisis de aplicabilidad por tipología

El ciclo de vida de un proyecto en el MOP de Chile sigue generalmente las etapas del SNI, estructurándose en: Preinversión (perfil, prefactibilidad, factibilidad), Diseño (ingeniería básica y de detalle), Ejecución (licitación y construcción), y Operación/Mantenimiento. Estas fases aseguran la viabilidad técnica, económica y ambiental antes de la inversión física.

La fase de preinversión incluye la definición del problema, se identifican las alternativas de solución y se realizan evaluaciones preliminares de costos y beneficios. En esta instancia la información técnica es de carácter global o referencial, basada en antecedentes y juicios expertos, y no en estudios de ingeniería detallada.

A modo general, al analizar la relación entre esta fase y los instrumentos vigentes, se observa que el PSM no establece medidas de mitigación de cumplimiento obligatorio de manera explícita para la fase de preinversión. La mayoría de las acciones con carácter vinculante del plan se concentran en las fases de diseño, ejecución y operación de los proyectos (MOP, 2025b).

La siguiente tabla integra una síntesis de la aplicabilidad por tipología haciendo uso de los criterios transversales definidos para sistematizar la información. Se puede acceder a información adicional en el [Anexo 5.2](#), Síntesis por tipología e instrumentos normativos.

Cabe mencionar que la tabla presentada a continuación no constituye un listado exhaustivo de todas las posibles medidas de mitigación, sino el resultado de la aplicación cualitativa de los cuatro criterios definidos previamente en cada tipología de infraestructura analizada. Para cada caso se realizó un cruce entre:

- i. Los lineamientos establecidos en el PSM y Guía de Huella de Carbono del MOP.
- ii. Los requerimientos técnicos propios de cada tipo de obra.
- iii. Información levantada en las entrevistas con equipos técnicos sectoriales.

Las medidas incluidas en la tabla corresponden a aquellas que, tras este análisis, presentan un nivel mínimo de viabilidad técnica y coherencia normativa en etapa de perfil. Por el contrario, medidas no incorporadas fueron descartadas por presentar incompatibilidades funcionales, ausencia de información suficiente para su evaluación preliminar o depender exclusivamente de decisiones propias de fases posteriores del ciclo de inversión.

La clasificación por tipología responde a diferencias estructurales entre los tipos de obra, particularmente en términos de materialidad predominante, condiciones territoriales y nivel de intervención sobre infraestructura existente.

Tabla 5-2.3. Síntesis de análisis de aplicabilidad por tipología.

Fuente: GeoAdaptive, 2026.

Criterio de evaluación y aplicabilidad	Tipología 1: Control aluvional y manejo de causas	Tipología 2: Infraestructura vial (puentes)	Tipología 3: Infraestructura de protección de borde costero
Aplicabilidad técnica y normativa	- Faenas de bajo impacto (rutas optimizadas, generadores eficientes, torres solares). - ERNC en operación (sensores/estaciones con FV + baterías). - Materialidad: gaviones y enrocados vs. hormigón para reducir carbono incorporado. - Reciclaje in situ condicionado por accesibilidad (chancado móvil).	- Faenas de bajo impacto en perfil (grupos electrógenos eficientes, iluminación solar). - Optimización logística (mixers/aceros, rutas maquinaria). - ERNC/LED en operación (iluminación con FV y baterías). - Optimización de acero y hormigón; reciclaje in situ de demoliciones para rellenos (según espacio y acceso).	- Faenas de bajo impacto (iluminación eficiente/autónoma, optimización transporte de pétreos/hormigón). - ERNC en operación (iluminación de seguridad, señalización/sensores con FV). - Materialidad: priorizar pétreos locales; optimización de volúmenes de hormigón; reaprovechamiento de enrocados en reposiciones.
Aplicabilidad normativa y de gobernanza	- PSM habilita incluir criterios de diseño pasivo, EE y ERNC en TdR de cada etapa. - Gestión RCD: modificar bases para materiales de bajo carbono y planificar reaprovechamiento (bancos regionales).	- PSM faculta a DV a incorporar criterios de mitigación/EE/ERNC en licitaciones. - Gestión RCD: mandata uso de materiales certificados bajos en carbono y sistematización de datos.	- PSM habilita a DOP a incluir criterios de descarbonización (materialidad, transporte, RCD) desde preinversión. - Hoja de Ruta RCD: proyectar gestión temprana de excedentes y opciones de reaprovechamiento
Factibilidad de cuantificación y medición (MRV)	- Huella preliminar: clasificación/agrupación de partidas (Guía MOP 2025a); estimar A5 (construcción) con ratios de combustible/horas de maquinaria. - Sistematización de datos base (cubicaciones, tipos de residuos, distancias)	- Huella preliminar: identificar partidas intensivas (acero/hormigón); factores referenciales y supuestos conservadores (materiales, transporte, maquinaria). - Datos base: volúmenes de materiales, residuos de	- Huella preliminar: identificar enrocado, hormigón y transporte; comparar alternativas de solución desde perspectiva de carbono. - Datos base: volúmenes, excedentes y distancias promedio para alimentar fichas RCD e informes de

Criterio de evaluación y aplicabilidad	Tipología 1: Control aluvional y manejo de causas	Tipología 2: Infraestructura vial (puentes)	Tipología 3: Infraestructura de protección de borde costero
	para Ficha Mensual RCD y trazabilidad.	demolición, distancias; habilita líneas base comparables y uso preliminar de PSC.	huella.
Identificación de barreras críticas	- Falta de evidencia consolidada para exigir materiales de bajo carbono → implementación gradual. - Brecha de datos y trazabilidad en economía circular (estadísticas RCD insuficientes). - Viabilidad geográfica/ambiental del reaprovechamiento requiere análisis ad hoc en zonas remotas. - Confianza de contratistas e incentivos de mercado insuficientes.	- Requiere estudios técnicos de desempeño/durabilidad (hormigón/acero) y compatibilidad normativa → gradualidad. - Brecha de trazabilidad (materiales/residuos/de stinos) limita líneas base robustas. - Reaprovechamiento condicionado por espacio, accesibilidad y restricciones ambientales (cauces, humedales). - Reticencia de contratistas por riesgo/costos y madurez limitada en economía circular.	- Necesidad de respaldo técnico previo para cambios de materialidad/diseño en ambientes marinos agresivos → gradualidad. - Déficit de datos históricos de materiales/residuos limita cuantificación y líneas base. - Reaprovechamiento sujeto a impactos litorales/ecosistémicos y normativa ambiental (análisis caso a caso). - Reticencia del mercado por incertidumbre técnica y condiciones exigentes.

Cabe destacar que no se aplicó una ponderación numérica entre criterios, dado que el objetivo fue identificar condiciones habilitantes y barreras cualitativas más que establecer un ranking comparativo entre tipologías.

Síntesis y recomendaciones de estrategias

El PSM no establece actualmente exigencias de cumplimiento obligatorio en la fase de preinversión, sin embargo la obligación de contribuir al cumplimiento de los compromisos climáticos del país se encuentra mandatada por la LMCC. En particular, los presupuestos sectoriales de carbono definidos en la ECLP constituyen un marco vinculante que condiciona la planificación, formulación y priorización de la inversión pública. En este contexto, la implementación progresiva de los lineamientos del PSM no debe entenderse como una acción voluntaria, sino como un instrumento operativo necesario para viabilizar el cumplimiento de dichos presupuestos. Por lo tanto, la incorporación temprana de criterios de mitigación en la

fase de preinversión resulta coherente no solo con los instrumentos sectoriales vigentes, sino también con las obligaciones legales de largo plazo del Estado, permitiendo anticipar esfuerzos de mitigación, reducir riesgos de incumplimiento futuro y fortalecer la coherencia climática del portafolio de proyectos de infraestructura.

Síntesis del análisis de aplicabilidad

El análisis desarrollado para las tres tipologías de infraestructura evidencia que la fase de preinversión constituye una instancia estratégica clave para integrar criterios de mitigación climática, aun cuando no existen exigencias normativas explícitas de cumplimiento obligatorio de medidas de mitigación climática en esta fase del ciclo de inversión.

De manera transversal, se observa que el PSM orienta la incorporación progresiva de criterios de eficiencia energética, uso de energías renovables, economía circular y gestión de la huella de carbono, pero concentra sus mandatos vinculantes en las etapas de diseño, ejecución y operación. En este contexto, la fase de preinversión adquiere un rol habilitante, permitiendo anticipar decisiones estructurales, logísticas y de materialidad que condicionan una parte significativa de las emisiones durante el ciclo de vida de los proyectos.

Desde el punto de vista técnico, las mayores oportunidades de mitigación, transversales a los tres tipo de infraestructura analizados, en fase de preinversión se concentran en:

- Decisiones de materialidad y diseño estructural
- Optimización logística y transporte
- Eficiencia energética y ERNC en faenas
- Gestión preliminar de residuos y economía circular

En relación a las barreras estructurales comunes a las tres tipologías, se plantea un enfoque gradual, progresivo y orientado al aprendizaje institucional y del sector privado, más que desde la imposición temprana de exigencias poco flexibles. Entre las principales barreras se identifican:

- Necesidad de estudios técnicos precisos para validar nuevos materiales
- Carencia de sistematización histórica de datos de RCD
- Restricciones geográficas y ambientales para el reaprovechamiento de materiales y rellenos
- Limitada madurez del mercado y falta de incentivos para la integración de medidas de mitigación climáticas por parte de los contratistas.
- Falta de metodologías estandarizadas de cuantificación (validadas por MDSF).

Recomendaciones de estrategias a seguir en la fase de preinversión

- 1. Formalizar la huella de carbono preliminar como herramienta de apoyo en la toma de decisiones**

Incorporar de manera sistemática la estimación preliminar de huella de carbono en los estudios de perfil, utilizando la Guía de Huella (MOP, 2025a). Esta práctica permitiría comparar alternativas de proyecto desde una perspectiva de carbono, sin requerir niveles de precisión propios de etapas posteriores.

2. Integrar criterios orientadores de descarbonización en las bases de licitaciones

Se recomienda incorporar criterios orientadores asociados a eficiencia energética, ERNC, optimización de materiales y logística en las Bases Generales del MOP, de manera transversal a las distintas direcciones técnicas. Esto permitiría establecer un marco habilitante común, sin imponer exigencias técnicas vinculantes en etapa de perfil, pero asegurando coherencia con lineamientos del PSM.

3. Fortalecer la generación y sistematización temprana de datos

Dado que actualmente no existe una herramienta o instrumento público que exija explícitamente el levantamiento de información base mínima en etapa de perfil, y considerando la complejidad técnica que ello implica, se propone incorporar este requerimiento de manera explícita en los Términos de Referencia tipo o en las bases de licitación correspondientes a estudios de perfil.

Este requerimiento debiera considerar, al menos, la estimación global de volúmenes de materiales, distancias promedio de transporte y caracterización preliminar de residuos, con el objetivo de habilitar la aplicación posterior de la Guía de Huella de Carbono del MOP y la gestión de RCD. Esta medida permitiría abordar las brechas de información identificadas en el PSM (MOP, 2025b), la Hoja de Ruta de RCD (CORFO, 2020) y en las entrevistas técnicas realizadas con las distintas direcciones sectoriales.

4. Enfoque gradual para materiales bajos en carbono y economía circular

Dada la necesidad de estudios técnicos y validaciones normativas, se recomienda que en fase de preinversión la incorporación de materiales alternativos o esquemas de reaprovechamiento se aborde al menos a nivel conceptual, identificando oportunidades y restricciones, sin comprometer la seguridad ni la viabilidad técnica de las obras.

Dado la incorporación de materiales alternativos (hormigón reciclado, por ejemplo), requiere de estudios de desempeño técnicos y validaciones normativas previas, se propone que en la fase de preinversión estas alternativas sean incorporadas como parte del análisis preliminar de opciones de diseño o materialidad, sin ser parte de una exigencia vinculante.

De esta forma, en los estudios de perfil, se podría identificar oportunidades potenciales de reducción de carbono asociadas a materiales, o anticipar brechas y requerimientos futuros.

5. Fortalecer capacidades institucionales y coordinación intersectorial

Se recomienda avanzar en el fortalecimiento de capacidades técnicas internas en las direcciones del MOP para integrar la mitigación climática en estudios preinversionales, así como mejorar la coordinación temprana con el MDSF para la correcta valorización de beneficios ambientales mediante el PSC.



5-3. Procedimiento propuesto

5-3. Procedimiento para la integración del Precio Social del Carbono en la evaluación social

El presente procedimiento tiene como objetivo establecer las bases técnicas para incorporar el PSC en la evaluación social, empleando el ACV como herramienta principal para la medición de emisiones, conforme a las directrices del MOP en los tres tipos proyectos de infraestructura analizados en esta consultoría.

La aplicación del ACV y la determinación de la huella de carbono son esenciales para que el PSC permita la internalización eficiente de las externalidades ambientales en la evaluación social de proyectos. La evaluación del carbono mediante el ACV en las infraestructuras públicas es relevante para captar adecuadamente las externalidades climáticas y estimar los beneficios netos reales. Las tipologías de proyectos analizados; control aluvional y manejo de cauces, infraestructura vial (puentes) e infraestructura de protección de borde costero, solo justifican la consideración. Este enfoque posibilita cuantificar el aporte de las obras públicas a la carbono neutralidad, y analizar si las reducciones en emisiones de GEI durante la fase de construcción del proyecto compensa, en caso de que suceda, el aumento de costo asociado a las medidas de mitigación implementadas.

La huella de carbono, una vez cuantificada y valorada mediante la aplicación del PSC, se transforma en un flujo financiero de carácter social, permitiendo comparar alternativas de inversión en función de su impacto en emisiones y otorgando prioridad a proyectos que incorporan medidas de mitigación.

El procedimiento busca, en suma, incorporar de una manera estructurada la estimación y valorización de los aportes en mitigación que hace un proyecto de manera complementaria a la evaluación social tradicional que aplica a cualquier proyecto. Es decir, dicho análisis se puede realizar por sí solo, y sus resultados también ser analizados en su propio mérito y sumarse a los resultados que entrega la evaluación social tradicional.

Es relevante mencionar que el procedimiento va de la mano y se debe usar en concordancia con la Metodología General para la Formulación y Evaluación de Proyectos de Inversión Pública, en particular con la sección III.2.1.1 de Identificación de Beneficios. El beneficio a identificar y cuantificar es clasificado como de aumento del bienestar de la población, ii) no asociados a aumentos en el consumo de un bien o servicio: mejoras en el medio ambiente. Y en términos de emisiones, el alineamiento se realiza a través de la Guía de Medición de Huella de Carbono para proyectos MOP.

Ver [Anexo 5-3](#), con la siguiente información:

- Aclaraciones técnicas adicionales

5-3.1. Alcance

Etapas relevantes del ACV desde la evaluación social de proyectos

Desde la perspectiva de la evaluación social, las etapas del ACV de mayor relevancia son aquellas que capturan la mayor proporción de las externalidades climáticas durante la vida útil de la infraestructura pública. Bajo este enfoque, las etapas de Producto, Construcción y Uso adquieren especial importancia, dado el prolongado periodo de servicio y el impacto acumulativo de las infraestructuras fiscales sobre el medio ambiente.

- **Etapas de Producto:** Comprende la extracción de materias primas, el transporte hasta la fábrica y la manufactura de materiales, constituyendo el carbono incorporado inicial del proyecto. Su inclusión en la evaluación social resulta fundamental, ya que permite comparar y valorar el empleo de materiales certificados de bajo impacto o con contenido reciclado (por ejemplo, acero o cemento ecológico), reduciendo la externalidad negativa desde el origen. La correcta incorporación de esta etapa determina la calidad de la estimación de la huella de carbono total del proyecto.
- **Etapas de Construcción:** Incluye el transporte de materiales a obra, el proceso constructivo in situ y el uso de maquinaria pesada y energía. En esta fase se genera el impacto inmediato de la inversión, y su consideración en la evaluación social permite anticipar medidas para la reducción de emisiones, como la optimización logística (distancias más cortas, vehículos menos contaminantes) y la preferencia por materiales de origen local.

Etapas de Uso y Operación: Esta fase comprende tanto el carbono operacional, derivado del consumo energético y de agua, como el carbono incorporado vinculado a las actividades de mantenimiento y reparación de la infraestructura pública. El diseño del proyecto incide de manera sustantiva en las emisiones futuras, permitiendo anticipar estrategias orientadas a la reducción de los requerimientos durante la fase de operación. Habitualmente, la etapa de uso constituye la principal fuente de emisiones o, en su defecto, de ahorros potenciales, dado que dichas infraestructuras pueden presentar una vida útil que alcanza hasta los 120 años. En consecuencia, resulta imprescindible efectuar una evaluación social exhaustiva que incluya la etapa de uso, desde las etapas de preinversión iniciales, con el fin de proporcionar una base técnica sólida para la toma de decisiones informadas. No obstante, y como se desarrollará en detalle más adelante, el procedimiento propuesto sólo considera como vida útil del proyecto el número de años recomendado por las metodologías de evaluación social del MDSF.

5-3.2. Estructura del procedimiento

El procedimiento busca estructurar los pasos a seguir que lleven a obtener la respuesta a la pregunta final de ¿cómo se captura la valoración social del aporte en mitigación de un proyecto? Pero antes de responder a ello, de poder valorizar, antes se debe saber ¿cuál es el aporte del proyecto en mitigar los GEI?, entendiendo por aporte el ahorro de emisiones de un proyecto. Pero entonces, antes hay que haber respondido ¿cuánto GEI emite el proyecto?, y comparar esas emisiones contra algún otro proyecto base (*business as usual*), contra el cual calcular el ahorro de emisiones del proyecto (o medidas de mitigación) que se está evaluando.²⁶

Así, los pasos generales del procedimiento propuesto para la integración del precio social de carbono en la evaluación social para promover proyectos con bajas emisiones de carbono, valorizando las medidas de mitigación climáticas, se estructura en dos módulos principales:

- **Módulo I - Cuantificación de las Medidas de Mitigación**

Se basa en los procedimientos propuestos por la Guía de Medición de Huella de Carbono para proyectos del MOP (MOP, 2025a), la cual establece lineamientos y una base metodológica común para la medición y gestión de la Huella de Carbono en proyectos de infraestructura.

- **Módulo II - Valoración y Rentabilidad de las Medidas de Mitigación**

En la segunda parte, se utiliza el cálculo del impacto total en GEI, para determinar el impacto marginal positivo generado por el proyecto. Este impacto marginal del proyecto se valoriza como un flujo financiero que se integra en la evaluación social.

En las secciones a continuación se explican los pasos para incluir las medidas de mitigación en la evaluación social de los proyectos analizados.

Si bien los beneficios y ahorros por menores emisiones pueden producirse tanto en la fase de producto y construcción como en la fase de uso, el procedimiento a continuación se desarrolla con especial énfasis en los ahorros que se producen durante la fase de producto y construcción. Ello por cuanto dicha etapa puede ser vista de manera transversal para las tres tipologías de proyectos de este estudio, en tanto que la medición de los ahorros por menores emisión de GEI para la etapa de uso están asociadas a factores específicos a las tipologías de proyecto. Dado esto, estos últimos ahorros o beneficios serán expresados de manera general en el procedimiento en el Módulo I, quedando su valorización posterior en su evaluación social (Módulo II), mediante el PSC, sujeta a los factores metodológicos específicos de cada tipología de proyecto.

²⁶ LC (del inglés Low Carbon = Bajo en Carbono) y PC (Proyecto Convencional o Proyecto Base).

Módulo I: Cuantificación de las Medidas de Mitigación

El objetivo es cuantificar el impacto marginal del proyecto en los GEI. Esto implica calcular la suma total de las medidas de mitigación incorporadas por el proyecto bajo en carbono, expresada en unidades de CO₂ equivalente (CO_{2eq}), y luego comparar estas estimaciones de GEI contra la alternativa del proyecto, que sería un proyecto base que no contiene medidas de mitigación.

En otras palabras, el objetivo es calcular la diferencia de emisiones entre un Proyecto Base (PC) y el Proyecto Bajo en Carbono (LC).

Para lograr esta cuantificación, se debe seguir el siguiente procedimiento (en base a la Guía de Medición de Huella de Carbono para proyectos MOP).²⁷ Para ello se considera que las principales fuentes de emisión de GEI en la etapa de producto y construcción provienen de las categorías de :

- Materiales y su transporte
- Maquinaria
- Uso de energía.

Paso 1.1 Cálculo de emisiones en un proyecto base (sin medidas de mitigación)

El primer paso consiste en calcular las emisiones de gases de efecto invernadero del proyecto base para cada una de las categorías señaladas. A continuación, se presenta la metodología empleada para realizar este cálculo para cada una de ellas.

▪ *Determinación de Emisiones de Materiales y Transporte*

Como primer paso, se procede a la identificación y categorización de los materiales y procedencia. Para cada material utilizado m , se debe considerar:

- la emisión de la elaboración del material (FE_m),
- la cantidad de material (Q_m)
- las emisiones asociadas a su transporte hacia la obra (D_m es la distancia recorrida y FE_v es el factor de emisión asociado al vehículo v).

Ecuación 1: Cálculo de emisiones GEI por material utilizado y su transporte

$$E_{Materiales} = \sum_m (Q_m * FE_m + D_m * FE_v)$$

▪ *Determinación de Emisiones por el uso de maquinaria para la construcción.*

²⁷ Disponible en el siguiente link <https://cambioclimatico.mop.gob.cl/plan-cc-sector-infraestructura/>

Se debe realizar un inventario de toda la maquinaria que se empleará en la construcción de la infraestructura para un proyecto base o convencional. Para cada maquinaria utilizada k , se deben estimar las emisiones según las horas de uso (H_k), rendimiento de la maquinaria (R_k) y el factor de emisión del combustible que usa la maquinaria (FE_{comb}).

Ecuación 2: Cálculo de Emisiones GEI por el Uso de Maquinaria

$$E_{Maquinaria} = \sum_k H_k * R_k * FE_{comb}$$

- *Determinación de las emisiones GEI por uso de energía eléctrica.*

Se debe cuantificar el uso de energía eléctrica que utiliza durante la construcción del proyecto, éstas se encuentran referidas principalmente a la conexión al Sistema Eléctrico Nacional (SEN), en este ítem se considera el uso de generadores eléctricos. La cantidad de energía ($Q_{energía}$) puede ser en kW o litros de combustible y el factor de emisión de la energía utilizada (FE_e).

Ecuación 3: Cálculo de Emisiones por Uso de Energía Eléctrica

$$E_{Energía} = Q_{energía} * FE_e$$

- *Emisiones Totales del Proyecto (Etapa Producto/Construcción):*

La estimación de las emisiones del proyecto bajo en carbono corresponderá a la suma de todas estas emisiones detalladas en los puntos anteriores.

Ecuación 4: Emisiones Totales del Proyecto

$$E_{Proyecto} = \sum_m (Q_m * FE_m + D_m * FE_v) + \sum_k H_k * R_k * FE_{comb} + Q_{energía} * FE_e$$

Donde:

- Q_m : Cantidad del material prioritario m, donde m corresponde al tipo de material (hormigón, acero, asfalto, etc.) [ton]
- FE_m : Factor de Emisión oficial del material m (basado en bases nacionales MMA) [kg CO_{2eq}/ton_m]
- D_m : Distancia total recorrida por el vehículo de transporte, para el material m [km]
- FE_v : Factor de Emisión oficial de vehículos v usados para el transporte de material [kg CO_{2eq}/km]
- H_k : Horas de uso de la maquinaria pesada k [hr]
- R_k : Rendimiento de combustible por hora de la maquinaria k [l/hr]
- FE_{comb} : Factor de emisión del combustible (usado en maquinaria) [kg CO_{2eq}/l]
- $Q_{energía}$: Energía consumida como electricidad [kW] o combustible [l]
- FE_e : Factor de emisión de la electricidad utilizada [kg CO_{2eq}/kW] o combustible usado en grupos electrógenos [kg CO_{2eq}/l]

Requisitos Paso 1.1

1) Inventario emisiones: etapa producto más etapa construcción

- a. Requiere itemizado de materiales más relevantes utilizados más relevantes en la construcción de un proyecto base tipo, de acuerdo con norma estándar para la tipología de proyecto (por ejemplo, en el caso de un puente la norma sería el Manual de Carreteras)
- b. Requiere un estándar (histórico) de tipologías de vehículos de transporte utilizados en faenas de proyectos de esa tipología. Para cada uno de las tipologías de vehículos estándar, estimar horas de uso y rendimiento estándar promedio, luego consumo de combustible y luego emisión GEI.

2) Inventario emisiones etapa operación

Requiere estimación de emisiones GEI asociados, ya sea directamente a la operación de un proyecto tipo (por ejemplo, la electricidad en un edificio público), o asociados a los costos en que los usuarios de la infraestructura incurren al usarla. Estos ítems de costos sociales durante la operación (consumo de energía, combustibles, etc) deben estar originalmente considerados en los flujos tradicionales de la metodología de evaluación que se aplica al proyecto tipo.

Paso 1.2 Cálculo de emisiones del proyecto cuando el proyecto considera medidas de mitigación al cambio climático.

Para determinar las emisiones del Proyecto Bajo en Carbono en particular, es preciso cuantificar todas las medidas que generarán reducción de emisiones de GEI, asociadas a este proyecto. Las alternativas de reducción de emisiones, generalmente recaen sobre las siguientes categorías:

▪ **Eficiencia energética**

Corresponde al uso de maquinaria, vehículos y/o procesos que tengan un menor uso de energía (ya sea combustibles o electricidad) durante la fase de construcción del proyecto. Dependiendo de dónde se aplique la eficiencia energética la reducción se verá reflejada en diferentes parámetros y ecuaciones.

- Vehículo de transporte de materiales eficiente: el factor de emisión de la Ecuación 1 (FE_v) es menor.
- Maquinaria de menores emisiones: la Ecuación 2 puede tener menor factor de emisión (FE_{comb}) o mayor rendimiento (R_k).

Los factores de emisión y rendimiento tanto de vehículos como de transporte debieran proveer de la ficha técnica de cada uno, si no se deberán obtener de bibliografía.

Ecuación 5: Cálculo de emisiones de maquinaria eficiente

$$\sum_k H_k * R_{k-eficiente} * FE_{comb-eficiente}$$

Ecuación 6: Cálculo de emisiones de vehículos eficientes

$$\sum_m (Q_m * FE_m + D_m * FE_{v-eficiente})$$

▪ **Materiales bajos en carbono**

Corresponde al uso de materiales que tengan menores emisiones GEI o que sean reutilizados o reciclados (total o parcialmente). Los materiales bajos en carbono tendrán un menor factor de emisión asociados a su carbono incorporado (FE_m). Si el material a utilizar es reciclado, también debiera tener un menor factor de emisión y, si es reutilizado, sólo tendrá las emisiones asociadas a su transporte ($FE_m=0$) y cualquier proceso que se le deba aplicar al material para su reuso (por ejemplo, si es RAP, sólo tendrá las emisiones de transporte ya que la maquinaria que aplica el RAP, utiliza el material reutilizado directamente).

Los factores de emisión de materiales debe entregarlos el proveedor, si no se deberán obtener de bibliografía.

Ecuación 7: Cálculo de emisiones cuando se utiliza material con menores emisiones GEI o reciclado

$$\sum_m (Q_m * FE_{m-eficiente} + D_m * FE_v)$$

Ecuación 8: Cálculo de emisiones cuando se reutiliza material

$$\sum_m (D_m * FE_v)$$

▪ Uso de Energía Renovable No Convencional

El proyecto reemplaza algún uso de energía (combustible o electricidad), con el uso de ERNC, tal como fotovoltaica o eólica. En este caso, la Ecuación 3 tendrá un factor de emisión menor (FE_e).

Los factores de emisión de ERNC se deberán obtener de especificaciones técnicas de la tecnología o de bibliografía.

Ecuación 9: Cálculo de emisiones cuando se utiliza Generador Eficiente

$$Q_{energía} * FE_{e-eficiente}$$

Así, la estimación de la Huella de Carbono de Proyecto Bajo en Carbono (LC) equivale a la suma de las tres categorías mencionadas anteriormente, con las medidas de mitigación a implementar.

Requisitos Paso 1.2

1) Inventario GEI: etapa producto más etapa construcción.

- Requiere itemizado de materiales utilizados más relevantes en la construcción del proyecto. Para cada material utilizado, estimar emisión de GEI (etapa producto)
- Requiere itemizado de vehículos de transporte a usar en faenas de construcción del proyecto, consumo electricidad faenas, etc. Para cada uno de las tipologías de vehículos, estimar horas de uso y su rendimiento, luego su consumo de combustible y luego emisión GEI.

2) Inventario emisiones etapa operación

Requiere estimación de emisiones GEI asociados, ya sea directamente a la operación de la infraestructura (por ejemplo, la electricidad en un edificio público), o asociados a los costos en que los usuarios de la infraestructura incurren al usarla (por ejemplo consumo de combustible en una carretera). Estos costos de operación o asociados a los costos (menores) de los usuarios, que pueden verse afectados por medidas de mitigación, deben ser aquellos originalmente considerados en la metodología de evaluación sectorial para esa tipología de proyectos. Para mayor detalle de los flujos y las ecuaciones asociadas por etapa ver [Anexo 5-3](#)

Paso 1.3 Comparación proyecto sin y con medidas de mitigación

En esta fase se procede a estimar el impacto en las GEI atribuible a la incorporación de las medidas de mitigación definidas para el proyecto bajo en carbono. La cuantificación se efectúa calculando la diferencia entre la huella de carbono generada por el proyecto bajo en carbono y la correspondiente al proyecto base o convencional de referencia.

Medida de mitigación		Diferencial de cálculo del Diferencial de Emisiones (kgCO ₂ eq)
Eficiencia energética	Maquinaria eficiente	$\left(\sum_k H_k * R_k * FE_{comb} \right) - \left(\sum_k H_k * R_{k-eficiente} * FE_{comb-eficiente} \right)$
	Vehículo de transporte eficiente	$\left(\sum_m (Q_m * FE_m + D_m * FE_v) \right) - \left(\sum_m (Q_m * FE_m + D_m * FE_{v-eficiente}) \right)$
Materiales Bajos en carbono	Material con menores emisiones GEI o reciclado	$\left(\left(\sum_m (Q_m * FE_m + D_m * FE_v) \right) \right) - \left(\sum_m (Q_m * FE_{m-eficiente} + D_m * FE_v) \right)$
	Material reutilizado	
ERNC	Generador eficiente	$(Q_{energía} * FE_e) - (Emisiones_{ERNC})$
	Energía fotovoltaica o eólica	

Así, la reducción de emisiones de GEI durante la etapa de construcción del proyecto, asociada a la implementación de las medidas de mitigación, corresponderá a la suma del diferencial de emisiones para cada medida.

Según la Guía del SNI, la cuantificación de beneficios corresponde a la determinación, mediante alguna unidad de medida adecuada, del efecto específico que genera dicho beneficio. En el caso de la mitigación de emisiones, la unidad de medida adecuada es la reducción de emisiones de kgCO_{2eq}. En este Módulo I se realiza la cuantificación y en el Módulo II, a continuación, se procede a su valorización, por medio del uso del Precio Social del Carbono.

Módulo II: Valoración y Rentabilidad de las Medidas de Mitigación

Este módulo traduce las reducciones de emisiones cuantificadas en el Módulo I a términos monetarios, analizando los flujos de inversión y operación en pesos chilenos (CLP) para dos escenarios: el proyecto convencional o base y el proyecto bajo en carbono. Para ello, se construye un presupuesto diferenciado para cada escenario, cuya diferencia refleja el costo adicional de implementar las medidas de mitigación. Dicha diferencia se complementa con la monetización de las emisiones evitadas —calculadas en el Módulo I— utilizando el Precio Social del Carbono (PSC), lo que permite expresar el beneficio climático del proyecto como un flujo económico-social que se integra a la evaluación social estándar y habilita la comparación directa entre ambas alternativas.

En síntesis, se procede a la conversión de las magnitudes de las medidas de mitigación, previamente cuantificadas como ahorro en emisiones, en valoraciones monetarias que se integran en la evaluación social de los flujos del proyecto. Antes de ello, cabe señalar que para determinar la rentabilidad social de las medidas de mitigación implementadas en el proyecto bajo en carbono —independientemente de si el proyecto se evalúa bajo una metodología tradicional mediante el VANS en un enfoque de coste-beneficio, o mediante el Valor Actual de los Costos (VAC) en un enfoque de coste-eficiencia—, la construcción de los flujos del proyecto deben responder a la lógica de la siguiente expresión:

Ecuación 10: Rentabilidad Social

$$VANS_{Total (LC)} = VANS_{Tradicional (PC)} + VANS_{Medidas Mitigación}$$

$$VANS_{Total (LC)} = VANS_{Tradicional (PC)} + \sum_{t=0}^n \frac{(BS_{t(LC)} - CS_{t(LC)})}{(1+r)^t}$$

Donde:

- BS = Beneficio Social por reducción de emisiones (valorizado con el PSC)
- CS = Costo Social de las medidas de mitigación
- r = tasa de descuento social
- t = período de evaluación

La ecuación anterior muestra cómo se integra el procedimiento propuesto con la metodología tradicional de evaluación de los proyectos. En efecto, esta ecuación indica que la VAN social de un proyecto que tiene medidas de mitigación es equivalente al VAN social aplicando la metodología tradicional habitual a un proyecto base sin medidas de mitigación, más el VAN social (complementario) de las medidas de mitigación por sí solas.

Así, a continuación, no referiremos a la construcción de los flujos para la evaluación social de este módulo complementario referido a las medidas de mitigación exclusivamente

Para evaluar la contribución de las medidas de mitigación incorporadas en el proyecto bajo en carbono (LC), se comparan los flujos de beneficios asociados a la reducción de emisiones con los costos de implementación de dichas medidas.

Estos costos se concentran principalmente en un mayor gasto de inversión en el período inicial de evaluación, atribuible a las medidas de mitigación (en adelante, MM). En este contexto, los costos de implementación se estiman como la diferencia entre la inversión total del proyecto bajo en carbono (LC) y la inversión del proyecto convencional o de referencia (PC).

Por su parte, los beneficios por reducción de emisiones se darán tanto en la etapa constructiva como en la etapa de operaciones del proyecto, por lo que deben ser incorporados como flujos positivos (A_t).

Ecuación 11: Rentabilidad Social

$$VAN_{\text{proyecto con MM (LC)}} = \left[VAN_{\text{Tradicional (PC)}} \right] + \left[-MM + A_0 + \frac{A_1}{(1+r)^1} + \frac{A_2}{(1+r)^2} + \frac{A_3}{(1+r)^3} + \dots + \frac{A_n}{(1+r)^n} \right]$$

Donde A_t representa el diferencial de emisiones del proyecto multiplicado por el PSC, en cada periodo de tiempo considerado en la evaluación

Ecuación 12: Ahorro GEI en un periodo determinado

$$A_t = \text{ahorro GEI en periodo } t = PSC * \left(CO_{2 \text{ equiv } PC} - CO_{2 \text{ equiv } LC} \right)_t$$

En el caso del periodo cero de evaluación, este flujo de beneficios por ahorro en emisiones (A_0) será igual a la suma de los diferenciales de emisión calculados en el punto 1.3 anterior, multiplicados por el PSC. Dado que, tanto los gastos de inversión en las medidas de mitigación y los flujos de beneficios estimados anteriormente están en el mismo periodo t_0 , estos últimos pueden considerarse como un menor gasto de inversión en dichas medidas ($-MM+A_0$).

Considerando lo anterior, difícilmente se tendrá que los beneficios por disminuciones en las emisiones circunscritas a ese solo periodo t_0 puedan por sí solas compensar el costo de inversión en las mismas (MM). En efecto, si sólo se considera dentro de la evaluación social los

beneficios que se generan en la etapa de construcción, esto equivale a estimar el VAN social a partir de una metodología de evaluación social tradicional sobre un proyecto base, restándole a este VAN social la inversión adicional requerida para implementar estas medidas y sumándole los beneficios en menores emisiones que se generan solo en la etapa de construcción

Ecuación 13: Rentabilidad Social

$$VANS_{\text{proyecto con MM (LC)}} = [VANS_{\text{Tradicional (PC)}}] + [-MM + A_0]$$

Luego deben hacerse esfuerzos por estimar los beneficios que dichas medidas producen durante la fase de uso de los proyectos. Para ello, deben agregarse los beneficios sociales equivalente al valor presente de los ahorros de emisión en GEI que se producen durante toda la vida útil del proyecto considerada en su evaluación (desde t=1, 2 hasta n).

Ecuación 14: Ahorro GEI durante vida útil

$$\frac{A_1}{(1+r)^1} + \frac{A_2}{(1+r)^2} + \frac{A_3}{(1+r)^3} + \dots + \frac{A_n}{(1+r)^n}$$

En el [Anexo 5-3](#) se desarrollan posibles ahorros en emisiones de GEI durante la etapa de operación de los proyectos, los que pueden ser considerados en los flujos de beneficios (de A₁ hasta A_n) que incrementen el VAN social en la evaluación de las medidas de mitigación.

Diagrama de síntesis del procedimiento

El siguiente diagrama (Figura 5-3.1) presenta un procedimiento estructurado en los dos módulos anteriormente descritos para incorporar la mitigación de gases de efecto invernadero en la evaluación social de proyectos, comparando un proyecto base con una alternativa bajo en carbono.

- En el **Módulo I: Cuantificación**, se construyen dos inventarios de emisiones: uno para el proyecto base y otro para el proyecto bajo en carbono. Con ambos insumos se realiza la comparación por etapas (por ejemplo, construcción/inversión y operación), calculando la reducción incremental de emisiones atribuible a la alternativa de menor carbono. El producto de este módulo es una estimación consistente de las toneladas de CO₂ equivalente evitadas, desagregadas por etapa y total del proyecto.
- En el **Módulo II: Valoración**, las reducciones de emisiones estimadas se monetizan mediante el PSC, transformando el beneficio climático en un beneficio económico social. Dicho beneficio se incorpora al análisis económico del proyecto, integrándose en los flujos asociados a preinversión, inversión y operación según corresponda. Con esta información se calcula el Valor Social Total, expresado como VAN, y luego se realiza una comparación de indicadores sociales (por ejemplo, VAN u otros indicadores de rentabilidad social) con y sin considerar la valorización de la mitigación. Esto permite cuantificar cuánto cambia la conveniencia social del proyecto cuando se internaliza el beneficio por emisiones evitadas.

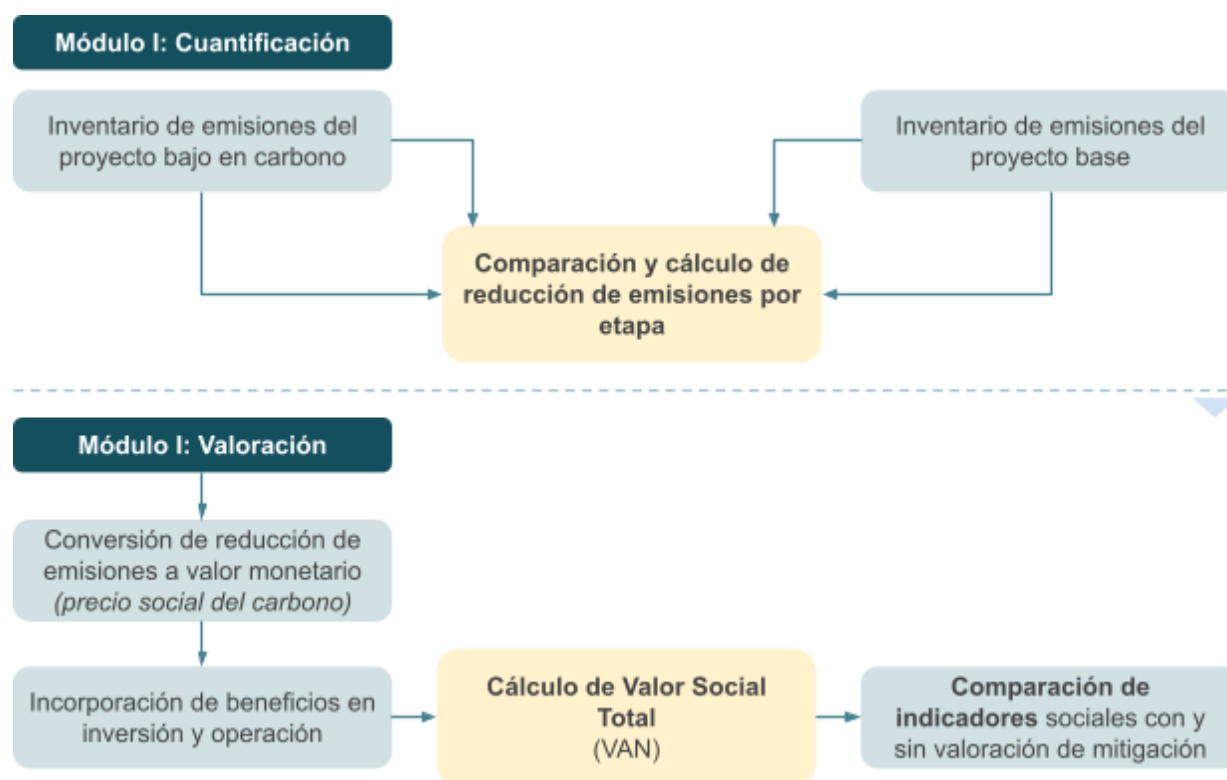


Figura 5-3.1. Diagrama de síntesis de la estructura del procedimiento. Fuente: GeoAdaptive, 2026.

5-3.3. Requisitos para implementar el procedimiento

El esquema presentado describe de manera general y estructurada, el procedimiento recomendado para integrar la valorización de medidas de mitigación en la evaluación social de proyectos. No obstante, su implementación implica afrontar retos específicos que deben abordarse y definirse con claridad a fin de asegurar que los procedimientos de cuantificación sean apropiados. Para ello, es fundamental considerar al menos dos aspectos: en primer lugar, la tipología del proyecto y, en segundo término, la etapa en la que se realiza la evaluación social correspondiente.

Dimensión de la tipología de proyecto y los materiales de alto impacto

Desde la dimensión del tipo de proyecto, se requiere construir el caso base (*Business as usual*) para cada tipología específica de proyecto (por ejemplo, puentes, carreteras, defensas aluvionales, caletas pesqueras, etc.). Para ello habrá que considerar los componentes más relevantes (entre materiales, procesos, etc.) que contribuyen a la emisión de GEI en este tipo

de caso base, lo que habrá que hacer considerando cada etapa del ciclo de vida del proyecto (aplicación de ACV). En este caso se debe seguir la metodología desarrollada en la Guía de Huella de Carbono (MOP, 2025a).

Luego, para cada uno de estos componentes que contribuyen con emisiones (ya sea incorporadas o por operación), habrá que estimar su magnitud (volumen, número, rendimiento, etc) en un estándar o proyecto base para cada tipología específica. Para esto, se recomienda recurrir fundamentalmente a las áreas técnicas de las distintas direcciones.

Para poder construir estas tipologías base de proyecto, sería del todo relevante que se pudiera trabajar con información histórica real de proyectos, a través de casos de estudios.

Dimensión de la etapa de evaluación

La fase de evaluación del proyecto ya sea pre-inversional o inversional (diseño/ construcción), determina qué tipo de información se requiere para fundamentar la evaluación social en cada una de estas. En las primeras etapas, como el perfil o la prefactibilidad, la información utilizada en la evaluación presenta mayor incertidumbre; esa incertidumbre disminuye a medida que los estudios avanzan y la información se vuelve más precisa, generalmente en etapas de factibilidad y diseño.

Por otro lado, durante la fase pre-inversional se busca analizar de manera prospectiva los flujos de beneficios y costos sociales del proyecto, con el objetivo de tomar una decisión informada sobre la continuidad de los estudios y el uso de recursos públicos en fases posteriores. Por ello, la evaluación social debe centrarse en los elementos más relevantes para estimar la huella de carbono según el tipo de proyecto. Para estos componentes clave, es fundamental procurar la mayor calidad posible de la información (en cuanto a relevancia, exhaustividad, consistencia, etc.), siempre asegurando que corresponda con la etapa de evaluación en la que se encuentra el proyecto.

Así, es de esperar que para las primeras etapas de análisis pre inversional se utilice información histórica de ratios y rendimientos tipo de proyectos bajos en carbono, mientras que, en etapas posteriores, como la de Diseño, se utilicen cubricaciones definitivas provenientes de los presupuestos estimados.

5-3.4. Próximos pasos

Este marco desarrollado busca maximizar los beneficios sociales y promover la reducción efectiva de la huella de carbono en el ámbito de la infraestructura.

La incorporación de la valorización de medidas de mitigación en la evaluación social de proyectos demanda un enfoque metodológico sólido, considerando tanto la tipología particular del proyecto como su fase de desarrollo. La adecuada identificación y superación de los desafíos expuestos, junto con la mejora continua en la calidad de la información utilizada,²⁸ constituyen elementos esenciales para fundamentar decisiones orientadas hacia la integración de la mitigación climática sin descuidar la eficiencia en la gestión de las inversiones públicas.

La correcta identificación y resolución de los retos metodológicos, junto con la utilización de información relevante y de calidad, resultan fundamentales para sustentar decisiones orientadas a la sostenibilidad y eficiencia en la gestión de inversiones públicas. En este contexto, los principales desafíos para operacionalizar esta metodología residen en el trabajo conjunto del MDSF y MOP, para continuar avanzando en promover la integración de medidas de mitigación mediante su valorización considerando las particularidades propias de las metodologías de evaluación específicas a cada tipología de proyecto y a las necesidades que surjan en la implementación.

El MDSF tiene definido un PSC, sin embargo, sin exigencias de cumplimiento obligatorio, su aplicación a los tipos de proyectos de infraestructura examinados es limitada. Como se detalla en el Capítulo 1 Diagnóstico en este informe, esto se debe a una serie de factores que dificultan y desincentivan la inclusión de esta perspectiva climática por parte de los formuladores de proyectos. Entre estos factores se encuentran: la falta de procedimientos metodológicos claros, definiciones sobre la información requerida, y una comunicación insuficiente sobre los beneficios de integrar medidas de mitigación climática tempranamente durante la fase de preinversión y evaluación de los proyectos.

En este sentido, el MOP posee una capacidad técnica robusta y una vasta experiencia que lo posicionan de manera única para abordar la modelización de proyectos de infraestructura. Esta capacidad y experiencia se extiende al diseño de proyectos base o de referencia y, lo que es crucial en el contexto actual, para contribuir a la comparación y evaluación rigurosa de estos con alternativas que incorporen bajas emisiones de carbono, exploradas en el Capítulo 3 Infraestructura y Mitigación Climática.

Este proceso de modelización y contraste es fundamental y no negociable en la estrategia de descarbonización del sector. Su importancia radica en la generación de datos empíricos de alta calidad y verificables para cada tipología de infraestructura. Estos datos no solo permiten sustentar técnicamente la cuantificación precisa de las emisiones de GEI asociadas a cada

²⁸ Esto requiere al menos una sistematización de información histórica de proyectos del MOP en estas tipologías del estudio, de manera poder construir tipologías base (business as usual) que sirvan de comparación para la estimación de los ahorros de GEI que conllevan los proyectos que incorporan medidas de mitigación.

alternativa, sino que también son la base para el diseño e implementación de medidas efectivas para su posterior y sistemática reducción.

El conocimiento profundo que se deriva de este ejercicio de cuantificación y comparación facilita un paso crítico: la traducción directa y fluida de la cuantificación de emisiones a flujos de costos y beneficios sociales tangibles. Esto se logra eficientemente a través del procedimiento establecido para la aplicación del PSC.

Al integrar el valor social del carbono y los beneficios de la reducción de GEI en el análisis costo-beneficio, el MOP puede justificar y priorizar de manera fundamentada aquellos proyectos que, además de cumplir con los objetivos propios de la infraestructura, demuestren un impacto positivo neto en la mitigación del cambio climático, asegurando así una asignación de recursos más eficiente y socialmente responsable.



Capítulo 6.

Recomendaciones y conclusiones

6. Recomendaciones y conclusiones

6-1. Conclusiones por objetivo específico

El presente estudio abordó tres objetivos específicos interrelacionados: (i) el diseño e implementación de una herramienta metodológica para integrar la adaptación climática en la evaluación social de proyectos de infraestructura pública del MOP, operacionalizada además en su fase de formulación; (ii) la validación y ajuste de esa herramienta mediante su aplicación en tres casos de estudio; y (iii) la incorporación del PSC como instrumento de mitigación en la evaluación social de proyectos. Los hallazgos de cada componente permiten extraer conclusiones diferenciadas que, en conjunto, configuran una hoja de ruta concreta para la integración climática en el Sistema Nacional de Inversiones (SNI).

Sobre la adaptación: diseño de herramienta e integración en formulación

El diagnóstico confirmó que Chile cuenta con una arquitectura normativa avanzada para integrar el cambio climático en la inversión pública — con instrumentos como la Ley Marco de Cambio Climático, el Plan de Adaptación y Mitigación del Sector Infraestructura, la Metodología General del SNI, la Metodología Complementaria de Evaluación de Riesgo de Desastres (MCERD) y avances sectoriales relevantes en DOP, DV y DOH —, pero que esta arquitectura permanece fragmentada y no se traduce sistemáticamente en criterios de admisibilidad, términos de referencia ni planillas de evaluación operativas que impulsen la integración climática en las tipologías de infraestructuras consideradas. Las brechas más críticas identificadas son la ausencia de parámetros estandarizados para valorar económicamente la resiliencia (daños evitados, continuidad de servicio, redundancia vial), el predominio de un enfoque reactivo que prioriza la respuesta ante emergencias por sobre la inversión preventiva, y la subutilización del PSC en las metodologías sectoriales. La experiencia comparada con Países Bajos, Reino Unido, Estados Unidos, Australia y Canadá confirma que estos países han avanzado mediante análisis multiescenario, factores de intensificación de 10 a 40%, horizontes extendidos de 50 a 100 años y uso sistemático del precio del carbono — todas adaptaciones que el SNI chileno puede incorporar progresivamente.

Frente a este diagnóstico, la Propuesta de Adecuación para la integración del cambio climático, complementa la herramienta BSAC actuando en la etapa más temprana del ciclo de inversión, su formulación. Alineada con la Metodología General (de aplicación obligatoria) y la MCERD (complementaria), su árbol de decisión estandarizado por tipología, sus matrices Sin vs Con Proyecto, y sus fuentes de información oficiales (ARClím, CR2MET, DGA, SHOA, SENAPRED) hacen posible que equipos técnicos de la DGOP y servicios ejecutores incorporen amenazas actuales y futuras desde la definición del problema y la comparación de alternativas. La descripción detallada de cada fuente —variables disponibles, escala temporal y espacial, y procedimiento de obtención de datos— se presenta en el Anexo 2-3, que constituye la guía operativa de referencia para los formuladores del MOP al momento de aplicar la Propuesta de

Adecuación. Su carácter indicativo y proporcional la hace implementable en el corto plazo sin alterar la lógica del SNI.

La herramienta BSAC desarrollada responde directamente a la brecha de valoración económica de los beneficios vinculadas a la adaptación climática en las tipologías de infraestructura analizadas. Como módulo complementario a la Metodología General y a la MCERD, opera con escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5, monetiza tres tipos de beneficios por tipología — Beneficio por Daños de Inundación Evitados (BDI), Beneficio por Continuidad de Conectividad (BCC), Beneficio por Continuidad de Servicios (BCS), Beneficio por Protección de Activos (BPA), Beneficio por Turismo Mantenido (BTM), Beneficio por Redundancia Vial (BRV) y Beneficio por Reducción de Tiempo de Recuperación (BRT) — y propone tasas de descuento diferenciadas (3–4% para SSP2-4.5; 2–3% para SSP5-8.5) coherentes con la naturaleza de largo plazo de los beneficios climáticos.

Sobre la aplicación: validación y resultados de los casos de estudio

La validación de la herramienta BSAC con profesionales del MOP y servicios colaboradores (MDSF, Ministerio del Medio Ambiente, Ministerio de Vivienda, Ministerio de Desarrollo Social) resaltó la solidez técnica del enfoque metodológico BSAC y su coherencia con el ciclo de inversión del SNI, identificando a la vez condiciones pendientes para su implementación operativa sistemática. El taller evidenció: consenso sobre la necesidad de tasas de descuento diferenciadas para proyectos de adaptación de largo plazo con una implementación gradual que requiere acuerdos institucionales; la urgencia de un repositorio de datos climáticos interoperable entre DGA, SHOA, SENAPRED, ARCLIM y DMC; la relevancia de incorporar beneficios de redundancia y continuidad de servicios críticos (salud, educación, agua potable) que el SNI actual no valoriza; y la necesidad de calibrar los parámetros de referencia internacionales a la variabilidad climática territorial de Chile, diferenciando al menos por macrozonas Norte, Centro y Sur.

La aplicación de la herramienta en los tres casos de estudio entregó resultados que destacan su pertinencia técnica y social:

- **Puente Los Vientos (DV, Región del Maule):** El componente de mayor peso fue el Beneficio por Redundancia Vial (BRV). Los resultados muestran VAN de \$34,7 M (SSP2-4.5) a \$261,4 M (SSP5-8.5), TIR de 38% a 186% y relación B/C de 11,4 a 37,8, con costos adicionales de adaptación estimados en 15–25% del costo total.
- **Defensas Costeras Av. Perú y Juan de Saavedra (DOP, Región de Valparaíso):** El componente predominante fue el Beneficio por Continuidad de Conectividad (BCC). Los resultados alcanzan VAN de \$84,0 M (SSP2-4.5) a \$554,1 M (SSP5-8.5), TIR de 45% a 194% y B/C de 9,2 a 28,3, con costos adicionales de adaptación de 25–40%.
- **Control Aluvional Quebrada Bonilla (DOH, Región de Antofagasta):** El BCC también fue el componente dominante, protegiendo a 12.840 personas directamente expuestas. Los resultados muestran VAN de \$51,4 M (SSP2-4.5) a \$437,9 M (SSP5-8.5), TIR de 17% a 82% y B/C de 6,3 a 21,5, con costos adicionales de adaptación de 20–35%.

Los tres proyectos presentan VAN positivo en ambos escenarios y todos los análisis de sensibilidad. Este resultado constituye evidencia empírica robusta de que la inversión en infraestructura resiliente es socialmente rentable cuando se incorpora una valoración completa de los beneficios de adaptación. Los ajustes metodológicos post-validación — uso del Valor Social del Tiempo del MDSF, diferenciación territorial de parámetros, alineamiento con los marcadores de cambio climático de DIPRES — afinan la herramienta para posibilitar su futura aplicación en el contexto nacional.

Sobre la mitigación: integración del PSC

El diagnóstico del componente de mitigación reveló una paradoja: las Direcciones del MOP ya ejecutan un conjunto diverso de prácticas que contribuyen a reducir emisiones — selección de canteras cercanas, uso de acero reciclado con declaraciones ambientales de producto, asfalto-caucho, reciclaje de pavimentos, energía solar en caletas, mejoras logísticas en DOP —, pero estas prácticas se aplican de forma aislada, sin cuantificación formal, sin inventarios de GEI por proyecto y sin registro en el SNI. El PSC, por su parte, está formalmente definido en Chile con una trayectoria de crecimiento hacia 2050 (de US\$63,4 a US\$264,2 por tonelada de CO₂e), pero su uso en la evaluación social de infraestructura se limita principalmente a algunas tipologías de proyectos de transporte masivo y, aun en esos casos, solo a las emisiones operacionales, sin considerar el carbono incorporado en materiales ni las emisiones de la etapa de construcción.

El procedimiento de integración del PSC desarrollado en la Fase 4 aborda este vacío con un enfoque de ACV en dos módulos secuenciales. El Módulo I cuantifica la reducción marginal de emisiones entre un "proyecto bajo en carbono" y un "proyecto base tipo", desagregando las etapas de producto+construcción y de operación, utilizando como base en la Guía de Huella de Carbono del MOP (2025a). El Módulo II traduce esa reducción en flujos monetarios: las reducciones en etapa de producto y construcción se registran como disminución del costo de inversión, y las reducciones operacionales como un beneficio anual adicional que se suma a los flujos del proyecto. El procedimiento culmina en la comparación de indicadores de rentabilidad social con y sin PSC, haciendo visible la ganancia social de las medidas de mitigación y proveyendo los fundamentos técnicos para su adopción gradualmente obligatoria.

6-2 Recomendaciones priorizadas

Las recomendaciones que a continuación se presentan constituyen el fundamento estratégico del Plan de Acción detallado en la sección 4.4, con el cual guardan una correspondencia directa: cada acción recomendada encuentra su desarrollo operativo en alguno de los elementos del plan. Organizadas según la misma secuencia lógica de implementación — desde la preparación institucional hasta las transformaciones de mayor complejidad — buscan abordar las brechas identificadas en el diagnóstico y habilitar las condiciones necesarias para la efectiva integración de los componentes de adaptación y mitigación del cambio climático en el SNI, a través de la adopción sostenida de las herramientas propuestas.

Acciones de corto plazo

1. Conformar una mesa de trabajo Técnico Interinstitucional MOP–MDSF para la gobernanza climática del SNI. La integración climática en la evaluación social de la inversión pública no puede avanzar de forma sostenida sin un espacio formal de coordinación entre el MOP como entidad formuladora y ejecutora, y el MDSF como rector de la evaluación social. Esta mesa de trabajo debería tener como propósito actualizar metodologías, revisar parámetros de referencia, articular la agenda climática con los compromisos de la NDC y la Estrategia Climática de Largo Plazo, y coordinar con las instituciones técnicas especializadas (DGA, SHOA, SENAPRED, MMA, DMC).

2. Crear un repositorio interinstitucional de datos climáticos e infraestructura. La disponibilidad de datos — curvas IDF actualizadas, proyecciones de nivel del mar, mapas de amenaza, factores de emisión por tipología — es la principal barrera operativa para aplicar tanto la herramienta BSAC como el procedimiento PSC. Un acuerdo de colaboración entre MOP, DGA, SHOA, SENAPRED, ARClím y DMC para centralizar y actualizar estos insumos en una plataforma accesible reduciría significativamente los tiempos y costos de preparación de proyectos climáticamente informados, así como la incertidumbre técnica con respecto a qué datos usar y como utilizarlos.

3. Socializar la Propuesta de Adecuación mediante circular o resolución de la DGOP. La Propuesta opera dentro de la lógica del SNI sin requerir cambios normativos mayores. Su formalización como guía de aplicación para las tipologías priorizadas transforma el diagnóstico y la comparación de alternativas en etapa de formulación, incidiendo en toda la cartera de proyectos en preinversión. El árbol de decisión, la ficha de clasificación de riesgo climático y las matrices Sin vs Con Proyecto son instrumentos que luego de ser ajustados por el MOP y validados por el MDSF podrían ser utilizados en la formulación de las tipologías de los proyectos de infraestructura descritos.

4. Implementar un programa de capacitación para equipos técnicos del MOP y MDSF. En el caso del MOP, el taller participativo de revisión demostró disposición y capacidad técnica en las Direcciones, pero también identificó brechas de formación específica. Un programa estructurado — con talleres prácticos por tipología, certificación de evaluadores y materiales de apoyo — es condición necesaria para la adopción sostenida de la herramienta BSAC y del procedimiento PSC. En el caso de MDSF, se constataron capacidades limitadas en relación a la necesidad de integración de una perspectiva climática en la evaluación de proyectos de infraestructura y una baja capacidad de innovación, condición requerida para la adopción gradual de nuevas prácticas basadas en ejemplos internacionales que ya han avanzado en este aspecto.

5. Actualizar los Requisitos de Información Sectorial (RIS) de DOH, DV y DOP incorporando un módulo climático. Los RIS son la vía directa para que la integración climática — caracterización de amenazas con escenarios SSP, factores de intensificación, medidas de resiliencia — quede incorporada en los criterios de admisibilidad del SNI para las

diversas tipologías de proyectos. Los ajustes pueden hacerse de forma progresiva, comenzando con los tres sectores del estudio y extendiendo a otros posteriormente.

6. Formalizar la herramienta BSAC como módulo complementario del SNI. La herramienta está disponible en formato Excel operativo y ofrece una estructura clara que permite la valoración de beneficios vinculados a la adaptación climática. Sin embargo, la herramienta debe ser implementada gradualmente considerando los vacíos en relación con datos nacionales y consenso interinstitucional. Una resolución ministerial que la establezca como requisito en los Términos de Referencia tipo para proyectos de envergadura en las tipologías priorizadas puede convertir el desarrollo metodológico propuesto en una práctica administrativa. La prioridad debe ser los proyectos de mayor inversión y mayor exposición climática territorial así como proyectos cuyo objetivo sea la adaptación climática.

7. Estandarizar la aplicación del PSC en tipologías de alta huella de carbono. Designar tipologías obligatorias para el reporte de inventarios GEI para viabilizar la integración del PSC — en una primera etapa: puentes, carreteras de gran envergadura y obras portuarias mayores — y publicar una guía práctica de aplicación con plantilla de reporte y factores de emisión de referencia por tipología es una acción de bajo costo y alto impacto normativo, que puede ejecutarse en paralelo con la formalización del procedimiento ACV.

8. Incorporar criterios de vulnerabilidad territorial en los sistemas de priorización del SNI. La arquitectura actual de priorización se basa casi exclusivamente en indicadores de rentabilidad financiera, lo que puede dificultar la adecuada consideración de zonas de alta vulnerabilidad social y climática donde la infraestructura resiliente es más necesaria pero menos "rentable" según criterios tradicionales. La integración de un índice de vulnerabilidad territorial — combinando exposición climática, criticidad logística y vulnerabilidad social — como criterio de priorización permitiría orientar la inversión hacia donde el impacto social es mayor, articulando el SNI con los instrumentos de planificación territorial y climática (PNACC, Planes Regionales de CC).

9. Revisar la tasa de descuento social para proyectos de infraestructura climáticamente relevante. La tasa de descuento social vigente (5.5%) desfavorece sistemáticamente la inversión en resiliencia, cuyos beneficios se concentran en el mediano y largo plazo. La evidencia empírica de los tres casos de estudio y el consenso técnico del taller participativo de revisión respaldan el uso de tasas diferenciadas (2–4%) para proyectos con beneficios climáticos significativos. Esta decisión requiere deliberación técnica del MDSF, pero tiene el potencial de transformar la viabilidad económica de toda la cartera de infraestructura resiliente y de aproximar los criterios nacionales a los estándares internacionales.

10. Desarrollar una metodología de valoración para SbN (SbN). Las SbN quedan sistemáticamente fuera de la cartera elegible del SNI por falta de comparabilidad económica con soluciones de ingeniería convencional. Su incorporación requiere una metodología específica que permita monetizar los servicios ecosistémicos más relevantes — absorción de carbono, regulación hídrica, control de sedimentos, carbono azul — e integrarlos como

beneficios medibles en las planillas de evaluación, siguiendo la lógica de módulo complementario ya establecida por la herramienta BSAC.

11. Aprovechar los mecanismos de financiamiento climático internacional. Chile cuenta con instrumentos en expansión — Taxonomía T-MAS, Marco de Bonos Sostenibles, mecanismos del Artículo 6 del Acuerdo de París, Fondo para Pérdidas y Daños — que pueden potenciar significativamente la cartera de infraestructura resiliente del MOP. Acceder a estos mecanismos requiere que los proyectos cuenten con la documentación técnica que los instrumentos de este estudio contribuyen a generar: clasificación de inversión climática, métricas de Medición, Reporte y Verificación (MRV) y alineamiento con los compromisos de la NDC. La integración climática en el SNI no es solo una mejora metodológica; es también una condición de acceso a financiamiento concesional que Chile está en posición de aprovechar.

6-3. Condiciones habilitantes

El plan de acción propuesto estructura la implementación de la herramienta, puede expandirse como una estructura aplicable a los instrumentos desarrollados. Este plan se estructura en cuatro horizontes temporales: preparación institucional, fortalecimiento técnico, pilotaje y validación e implementación gradual. La secuencia de actividades sugeridas para cerrar las principales brechas identificadas — conformar el Comité Técnico, formalizar los instrumentos, crear el repositorio de datos, capacitar equipos, seleccionar proyectos piloto por tipologías, ajustar parámetros y escalar la aplicación — está diseñada para producir resultados verificables en cada etapa y generar la evidencia empírica nacional que los instrumentos aún requieren para su calibración definitiva. Sin embargo, más allá de la secuencia de actividades, la experiencia comparada y los hallazgos de la propia consultoría permiten identificar un conjunto de condiciones de éxito que determinan si la integración climática logrará arraigo institucional o quedará confinada al plano del estudio técnico.

Mandato político explícito y ventana de oportunidad. Los países revisados muestran que la integración climática en la evaluación de inversiones no ocurre de forma orgánica: requiere un mandato que transforme las herramientas técnicas en requisitos administrativos. En el caso chileno, esto implica no solo calibrar y ajustar los instrumentos desarrollados sino formalizar los mismos — Propuesta de Adecuación, herramienta BSAC y procedimiento PSC — mediante resoluciones, circulares o actualizaciones de los RIS, dentro de una ventana de oportunidad que se abre con la vigencia del Plan de Adaptación y Mitigación del Sector Infraestructura 2025–2029.

Apropiación técnica por parte de las Direcciones del MOP. La sostenibilidad de los instrumentos depende de que los equipos de DOH, DV y DOP los incorporen como parte de su práctica habitual. El taller participativo de revisión demostró que existe la disposición y la capacidad para hacerlo, pero también que se requiere un acompañamiento técnico estructurado en las primeras aplicaciones, junto con la disponibilidad de materiales de apoyo calibrados a la diversidad territorial de Chile. La diferenciación de parámetros por macrozona — Norte, Centro y Sur — es un ajuste metodológico prioritario para la versión 2.0 de la herramienta BSAC.

Interoperabilidad con los sistemas del MDSF. La integración climática en el SNI solo es efectiva si los resultados de la herramienta BSAC y del procedimiento PSC se reflejan en los indicadores registrados en el Banco Integrado de Proyectos (BIP) y en los criterios de revisión del MDSF. Esto requiere articulación técnica bilateral para adaptar los sistemas de información e incorporar los nuevos indicadores climáticos como campos reconocidos en la evaluación social, incluyendo su alineación con los marcadores de cambio climático de DIPRES.

Sistema de monitoreo y actualización periódica. Los escenarios climáticos, los factores de intensificación y los valores del PSC evolucionan con el avance del conocimiento científico y los compromisos internacionales. El sistema de monitoreo propuesto — considerando la revisión periódica de los factores de intensificación y el valor del PSC, actualización de la efectividad de las medidas de adaptación, actualización de proyecciones climáticas y revisión de la metodología propuesta — es esencial para mantener la vigencia técnica y la credibilidad institucional de los instrumentos a lo largo del tiempo.

En síntesis, este estudio ha demostrado que la integración del cambio climático en el SNI es técnicamente viable, metodológicamente robusta y socialmente rentable, aunque aún se requiere su calibración y el progresivo cierre de las brechas identificadas para posibilitar su implementación gradual. Los tres casos de estudio confirman que la infraestructura diseñada para la adaptación climática genera beneficios sociales que superan con holgura sus costos incrementales, en todos los escenarios evaluados. El procedimiento de integración del PSC hace visible la rentabilidad social de las medidas de mitigación que el MOP ya práctica, y la Propuesta de Adecuación sienta las bases para que estas consideraciones operen desde el origen del ciclo de los proyectos de inversión. El desafío que queda es de naturaleza institucional: convertir los instrumentos desarrollados en práctica administrativa consolidada, asegurando que cada proyecto de infraestructura del MOP — desde su formulación hasta su evaluación social — refleje de forma explícita y trazable su contribución a la resiliencia y la descarbonización de Chile.



Referencias

Referencias

Capítulo 2. Propuesta de Adecuación

Datos

- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2021). *Climate change 2021: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
<https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2023). *Climate change 2023: Synthesis report*. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>
- Ministerio del Medio Ambiente. (s. f.). *ARClím: Plataforma de análisis de riesgo climático*. Recuperado el 30 de enero de 2026, de <https://arclim.mma.gob.cl/>
- Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)2. (s. f.). *CR2MET: Base de datos climática para Chile (precipitación y temperatura)*. Recuperado el 30 de enero de 2026, de <https://www.cr2.cl/datos/>
- Dirección General de Aguas. (s. f.). *Información hidrometeorológica, redes de monitoreo y visores oficiales*. Recuperado el 30 de enero de 2026, de <https://dga.mop.gob.cl/>
- Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile. (s. f.). *Información oceanográfica oficial (incluye mareógrafos y avisos)*. Recuperado el 30 de enero de 2026, de <https://www.shoa.cl/>
- Dirección General del Territorio Marítimo y de Marina Mercante. (s. f.). *Información oficial marítima (incluye avisos y reportes)*. Recuperado el 30 de enero de 2026, de <https://www.directemar.cl/>
- Servicio Nacional de Geología y Minería. (s. f.). *Información oficial y visores de amenazas geológicas*. Recuperado el 30 de enero de 2026, de <https://www.sernageomin.cl/>
- Servicio Nacional de Prevención y Respuesta ante Desastres. (s. f.). *Información oficial para la gestión del riesgo de desastres*. Recuperado el 30 de enero de 2026, de <https://www.senapred.cl/>

Bibliográficas

- Centro de Cambio Global UC, CIGIDEN, IH Cantabria y Universidad de Valparaíso. 2013. Marco Estratégico para la adaptación de la infraestructura al cambio climático. Ministerio de Obras Públicas y Ministerio de Medio Ambiente. Disponible en: <https://repositoriodirplan.mop.gob.cl/biblioteca/items/d1ac5781-0344-4a81-82cc-003a2fb0759>
- Dirección General del Obras Públicas (DGOP). 2023. Estudio para la incorporación de la variable Cambio Climático en el plan de reconstrucción. Santiago de Chile.
- Ministerio de Desarrollo Social y Familia. (2025a). *Metodología general para la formulación y evaluación de proyectos de inversión pública*.
<https://www.desarrollosocialyfamilia.gob.cl/>

- Ministerio de Desarrollo Social y Familia. (2025b). *Metodología complementaria para la evaluación de riesgo de desastres en proyectos de infraestructura pública*.
<https://www.desarrollosocialyfamilia.gob.cl/>
- Ministerio de Desarrollo Social y Familia. (2025c). *Instructivo de proporcionalidad en la postulación de proyectos al Sistema Nacional de Inversiones (SNI)*.
<https://share.google/6Rz2jimmnzRvTzgPSy>
- Ministerio del Medio Ambiente. (2021). *Estrategia climática de largo plazo de Chile*.
<https://cambioclimatico.mma.gob.cl/>
- Ministerio de Obras Públicas. (2025). *Plan de adaptación y mitigación al cambio climático – Sector infraestructura (2025–2029)*. <https://www.mop.gob.cl/>
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). 2025. Recomendaciones metodológicas para la incorporación del cambio climático en el diseño de obras hidráulicas en la zona norte de Chile”.
- República de Chile. (2022). *Ley N° 21.455: Ley marco de cambio climático*.
<https://www.bcn.cl/leychile/>

Capítulo 3. Introducción y Marco de Referencia

Herramienta y adecuaciones SNI

American Association of State Highway and Transportation Officials [AASHTO]. (2024). LRFD Bridge Design Specifications, 10th Edition. Recuperado de:
<https://store.transportation.org/item/collectiondetail/268>

Banco Mundial [BM]. (2024). Climate Adaptation Costing in a Changing World. Recuperado de:
<https://documents1.worldbank.org/curated/en/099050224072021662/pdf/P179070-40a072be-bcc8-419a-b5d0-2d978862b4ff.pdf>

Centro de Investigación para la Gestión Integrada del Riesgo de Desastres [CIGIDEN]. (2019). 28 years after the Antofagasta alluvium, new studies warn that there are still vulnerable territories. Recuperado de:
<https://www.cigiden.cl/28-years-after-the-antofagasta-alluvium-new-studies-warn-that-the-re-are-still-vulnerable-territories/>

EurOtop [EurOtop]. (2018). Manual on wave overtopping of sea defences and related structures: An overtopping manual largely based on European research, but for worldwide application. Recuperado de:
<https://www.overtopping-manual.com/eurotop/downloads/>

Federal Emergency Management Agency [FEMA]. (2023). Designing for Flood Levels Above the Minimum Required Elevation After Hurricane Ian. Recuperado de:
https://www.fema.gov/sites/default/files/documents/fema_mat-hurricane-ian-recovery-advisory-1.pdf

- Federal Highway Administration [FHWA]. (2020). FHWA - Hydraulic Engineering Circular 25. Recuperado de: <https://www.fhwa.dot.gov/engineering/hydraulics/pubs/hif19059.pdf>
- Gascoin, S., Kinnard, C., Ponce, R., Lhermitte, S., MacDonell, S., & Rabatel, A. (2011). Glacier contribution to streamflow in two headwaters of the Huasco River, Dry Andes of Chile. The Cryosphere 5: 1099-1113. <https://doi.org/10.5194/tc-5-1099-2011>
- GeoAdaptive LLC [GA]. (2025). Fichas bibliográficas: Levantamiento de información. Archivo adjunto en paquete de entregables en carpeta compartida.
- Ginbo, T., Di Corato, L., & Hoffmann, R. (2020). Investing in climate change adaptation and mitigation: A methodological review of real-options studies. Ambio, 50(1), 229-241. Recuperado de: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7708567/>
- Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC]. (2021). IPCC Sixth Assessment Report, Chapter 4: Water. Recuperado de: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/chapter/chapter-4/>
- Molecular Diversity Preservation International [MDPI]. (2020). An Inter-Comparison of the Holiday Climate Index (HCI:Beach) and the Tourism Climate Index (TCI) to Explain Canadian Tourism Arrivals to the Caribbean (M. Rutt, et al). Recuperado de: <https://www.mdpi.com/2073-4433/11/4/412>
- Molecular Diversity Preservation International [MDPI]. (2024). Climate Risk and Its Impact on the Cost of Capital—A Systematic Literature Review (L. Meneses, et al). Recuperado de: <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/23/10727>
- National Aeronautics and Space Administration [NASA]. 2015. Flooding in the Chilean Desert. Recuperado de: <https://www.earthobservatory.nasa.gov/images/85685/flooding-in-the-chilean-desert>
- National Cooperative Highway Research Program [NCHRP]. (2014). Climate Change, Extreme Weather Events and the Highway System: A Practitioner's Guide. Recuperado de: https://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp/docs/NCHRP20-83%2805%29_AdaptationGuidanceDoc.pdf
- Organización Meteorológica Mundial [OMM]. (2017). Guía de prácticas climatológicas (OMM-No.100). Ginebra: Organización Meteorológica Mundial. Disponible en: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=5541
- Pizarro, R., Valdes-Pineda, R., Garcia-Chevesich, P., & Ibanez, A. (2022). The Large-Scale Effect of Forest Cover on Long-Term Streamflow Variations in Mediterranean Catchments of Central Chile. Sustainability 14(8): 4443. <https://doi.org/10.3390/su14084443>
- Rivera-Vidal, R., Arumi, J.L., Melo, O., Delgado, V., Parra, V., Stehr, A., & Daniele, L. (2025). Managed aquifer recharge implementation challenges: Lessons from Chile's water-scarce regions. Groundwater for Sustainable Development 31: 101502. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2025.101502>

- Taylor and Francis [TANDE]. (2019). Bridges in a changing climate: a study of the potential impacts of climate change on bridges and their possible adaptations (A. Nasr et al). Recuperado de: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15732479.2019.1670215>
- U.S. Department of Transportation [US-DOT]. (2023). Benefit-Cost Analysis Guidance for Discretionary Grant Programs. Recuperado de: <https://www.transportation.gov/sites/dot.gov/files/2023-12/Benefit%20Cost%20Analysis%20Guidance%202024%20Update.pdf>
- United Nations Office for Disaster Risk Reduction [UNDRR]. (2025). Latin America and the Caribbean move to strengthen Multi-Hazard Early Warning Systems for climate resilience. <https://www.undrr.org/news/latin-america-and-caribbean-move-strengthen-multi-hazard-early-warning-systems-climate>
- Xu, M., Bravo de Guenni, L., & Córdova, J. R.(2024). Climate change impacts on rainfall intensity–duration–frequency curves in local scale catchments. Environmental Monitoring and Assessment, 196(4), 372. Recuperado de: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10943172/>

Referencias de la integración climática en la evaluación de la infraestructura pública en el análisis comparativo de países seleccionados

Australia

- Australian Academy of Science. (2021). Climate Compass: Infrastructure Risk Assessment Tool. Australian Academy of Science.
- Australian Business Roundtable. (2021). Economic Costs of Climate Change and Benefits of Action. Australian Business Roundtable for Disaster Resilience.
- Australian Energy Market Operator. (2021). Integrated System Plan 2022. AEMO.
- Australian Government. (2021). Australia's National Climate Resilience and Adaptation Strategy. Department of Climate Change, Energy, the Environment and Water.
- Bureau of Meteorology. (2020). Australian Climate Risk Assessment Methodology. Australian Government.
- Bureau of Meteorology. (2022). Climate Data Online and Australian Climate Service. Australian Government.
- Clean Energy Regulator. (2021). Carbon Intensity Benchmarks for Infrastructure. Australian Government.
- Climate Council. (2021). Climate Risk and Infrastructure: Building Resilience. Climate Council of Australia.
- CSIRO. (2020). Climate Change in Australia: Technical Report. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation.

- CSIRO. (2021). Adaptive Pathways Planning for Infrastructure. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation.
- Department of Agriculture, Water and the Environment. (2020). National Landcare Programme Guidelines. Australian Government.
- Department of Agriculture, Water and the Environment. (2021). National Climate Change Adaptation Framework. Australian Government.
- Department of Climate Change, Energy, the Environment and Water. (2022). Australia's Climate Change Policies. Australian Government.
- Department of Industry, Science and Resources. (2022). Safeguard Mechanism Guidelines. Australian Government.
- Department of the Prime Minister and Cabinet. (2020). Australian Government Guide to Regulatory Impact Analysis. Australian Government.
- Emergency Management Australia. (2021). Infrastructure Resilience Guidelines. Department of Home Affairs.
- Green Building Council Australia. (2020). Embodied Carbon and Energy Guidelines. GBCA.
- Infrastructure Australia. (2020). Infrastructure Resilience Assessment Framework. Australian Government.
- Infrastructure Australia. (2021). Assessment Framework for Infrastructure Projects. Australian Government.
- Infrastructure Australia. (2022). Infrastructure Resilience Roundtable Report. Australian Government.
- National Native Title Tribunal. (2021). Indigenous Knowledge in Climate Assessment. Australian Government.
- NSW Government. (2020). Climate Risk Assessment Guidelines. Government of New South Wales.
- Productivity Commission. (2020). Economic Analysis of Climate Adaptation. Australian Government.
- Queensland Government. (2021). Climate Resilient Infrastructure Policy. State of Queensland.
- Reserve Bank of Australia. (2021). Climate Risk and Financial Stability. RBA.
- Standards Australia. (2021). Climate-Adapted Design Standards. Standards Australia.
- State of Victoria. (2020). Climate Change Framework. Victorian Government.
- State of Victoria. (2021). Climate Change Adaptation Action Plans. Victorian Government.
- Treasury. (2021). Australian Climate and Energy Model (AusACEM). Australian Government.

Canadá

- Auditor General of Canada. (2021). Report 2: Preparing for Impacts of Climate Change. Office of the Auditor General of Canada.
- Bush, E., & Lemmen, D.S. (Eds.). (2019). Canada's Changing Climate Report. Government of Canada.

- Canadian Climate Institute. (2022). Climate-Smart Infrastructure: Building Resilience in a Changing Climate. Canadian Climate Institute.
- Canadian Institute of Actuaries. (2019). Climate Change and Infrastructure: Risk Assessment Guidelines. Canadian Institute of Actuaries.
- Canadian Standards Association. (2019). CSA S478:19 - Guideline on durability in buildings. CSA Group.
- Canadian Standards Association. (2020). Infrastructure resilience planning guideline. CSA Group.
- Engineers Canada. (2020). Climate Change and Infrastructure Resilience: A Guide for Engineers. Engineers Canada.
- Environment and Climate Change Canada. (2016). Pan-Canadian Framework on Clean Growth and Climate Change. Government of Canada.
- Environment and Climate Change Canada. (2022). Technical Update to Environment and Climate Change Canada's Social Cost of Greenhouse Gas Estimates. Government of Canada.
- Federation of Canadian Municipalities. (2020). Investing in Canada's Future: The Cost of Climate Adaptation at the Local Level. FCM.
- Government of British Columbia. (2020). CleanBC Roadmap to 2030. Province of British Columbia.
- Government of Canada. (2021). A Healthy Environment and a Healthy Economy: Canada's strengthened climate plan. Government of Canada.
- Government of Ontario. (2018). Environment Plan: Preserving and Protecting our Environment for Future Generations. Government of Ontario.
- Green Building Council Canada. (2020). Zero Carbon Building Framework. Canada Green Building Council.
- Indigenous Services Canada. (2021). Climate Change and Health Adaptation Program for Indigenous Communities. Government of Canada.
- Infrastructure Canada. (2018). Investing in Canada Plan. Government of Canada.
- Infrastructure Canada. (2019). Climate Lens: General Guidance. Government of Canada.
- Infrastructure Canada. (2021). National Infrastructure Assessment. Government of Canada.
- Infrastructure Canada. (2022). Strengthening Climate Resilience through Infrastructure. Government of Canada.
- ISO 14064-1. (2018). Greenhouse gases — Part 1: Specification with guidance at the organization level for quantification and reporting of greenhouse gas emissions and removals. International Organization for Standardization.
- Natural Resources Canada. (2020). Climate Change Adaptation Program. Government of Canada.
- Natural Resources Canada. (2021). Energy Efficiency Trends in Canada. Government of Canada.
- Parliamentary Budget Officer. (2020). The Fiscal Impact of Climate Change on the Federal Government. Office of the Parliamentary Budget Officer.

- Public Safety Canada. (2019). National Risk Profile: Climate Change. Government of Canada.
- Standards Council of Canada. (2021). Lifecycle Assessment Standards for Infrastructure. Standards Council of Canada.
- Transport Canada. (2019). Transportation and Climate Change. Government of Canada.
- Treasury Board Secretariat. (2020). Guide to Cost-Benefit Analysis for Regulatory Proposals. Government of Canada.
- Treasury Board Secretariat. (2021). Directive on the Management of Projects and Programmes. Government of Canada.
- Treasury Board Secretariat. (2022). Policy on Green Procurement. Government of Canada.

Reino Unido

- Bank of England. (2021). Climate-Related Financial Risk Management and the Role of Capital Requirements. Bank of England.
- BRE. (2020). BREEAM Infrastructure Sustainability Assessment. Building Research Establishment.
- BSI. (2020). PAS 2080:2016 Carbon Management in Infrastructure. British Standards Institution.
- Cabinet Office. (2021). National Risk Register 2020. HM Government.
- Committee on Climate Change. (2020). Adaptation Sub-Committee Progress Report. Climate Change Committee.
- Committee on Climate Change. (2021). Independent Assessment of UK Climate Risk. Climate Change Committee.
- Committee on Climate Change. (2022). Progress in Reducing Emissions: 2022 Report to Parliament. Climate Change Committee.
- Construction Industry Research and Information Association. (2021). Carbon Management in Infrastructure Construction. CIRIA.
- Defra. (2021). Updated Social Cost of Carbon Values. Department for Environment, Food and Rural Affairs.
- Environment Agency. (2020). Climate Change Adaptation Guidance. Environment Agency.
- Environment Agency. (2021). Climate Change Allowances for Flood Risk Assessments. Environment Agency.
- Environment Agency. (2022). Climate Ready Support Service. Environment Agency.
- Highways England. (2020). Climate Adaptation Risk Assessment. Highways England.
- HM Government. (2021). Net Zero Strategy: Build Back Greener. HM Government.
- HM Treasury. (2021). Green Book Supplementary Guidance: Valuation of Energy Use and Greenhouse Gas Emissions. HM Treasury.
- HM Treasury. (2022). The Green Book: Central Government Guidance on Appraisal and Evaluation. HM Treasury.
- Infrastructure and Projects Authority. (2020). Infrastructure Resilience Review. Cabinet Office.

- Infrastructure and Projects Authority. (2021). Government Construction Strategy. Cabinet Office.
- Infrastructure and Projects Authority. (2022). Annual Report on Major Projects Performance. Cabinet Office.
- Joint Nature Conservation Committee. (2021). UK Climate Change Risk Assessment Evidence Report. JNCC.
- Met Office. (2020). UK Climate Projections (UKCP18) Science Overview Report. Met Office.
- National Audit Office. (2021). Achieving Net Zero. National Audit Office.
- Natural England. (2020). Natural Capital Accounting for the 25 Year Environment Plan. Natural England.
- Network Rail. (2021). Climate Change Adaptation Strategy. Network Rail.
- Ofwat. (2021). Climate Resilience and Net Zero: A Position Statement. Water Services Regulation Authority.
- ONS. (2021). Natural Capital Accounts: 2021. Office for National Statistics.
- RICS. (2021). Whole Life Carbon Assessment for the Built Environment. Royal Institution of Chartered Surveyors.
- Stern, N. (2007). The Economics of Climate Change: The Stern Review. Cambridge University Press.
- UK100. (2021). Local Authority Climate Action Plans. UK100.

Países Bajos

- Climate Impact Atlas. (2020). National Climate Risk Assessment Methodology. Government of the Netherlands.
- CPB Netherlands Bureau for Economic Policy Analysis. (2020). Real Options in Climate Infrastructure Investment. CPB.
- CPB Netherlands Bureau for Economic Policy Analysis. (2021). Guidelines for Economic Evaluation of Infrastructure Projects. CPB.
- Delta Programme Commissioner. (2020). Adaptive Delta Management Strategy. Government of the Netherlands.
- Delta Programme Commissioner. (2021). Delta Programme 2022: Working Together on a Climate-Proof and Water-Robust Netherlands. Government of the Netherlands.
- Delta Programme Commissioner. (2022). Monitoring and Evaluation Programme for the Delta Programme. Government of the Netherlands.
- Deltares. (2020). Climate-Proof Planning Methodology. Deltares.
- Deltares. (2021). Adaptive Capacity Assessment Framework. Deltares.
- Deltares. (2022). Integrated Assessment Tools for Climate-Resilient Infrastructure. Deltares.
- EcoShape. (2021). Building with Nature: Evaluation Framework for Nature-Based Solutions. EcoShape Foundation.
- Government of the Netherlands. (2020). National Climate Adaptation Strategy 2016-2020. Government of the Netherlands.
- KNMI. (2023). KNMI Climate Scenarios for the Netherlands. Royal Netherlands Meteorological Institute.

- Ministry of Economic Affairs. (2022). Carbon Pricing Strategy for Infrastructure Investment. Government of the Netherlands.
- Ministry of Finance. (2021). Socio-Economic Cost-Benefit Analysis Guidelines. Government of the Netherlands.
- Ministry of Infrastructure and Water Management. (2020). Climate Agreement Implementation Programme. Government of the Netherlands.
- Ministry of Infrastructure and Water Management. (2021). Circular Economy Transition Programme for Infrastructure. Government of the Netherlands.
- Ministry of the Interior. (2021). National Environmental Vision (NOVI). Government of the Netherlands.
- Netherlands Enterprise Agency. (2021). Energy Performance Standards for Infrastructure. Government of the Netherlands.
- Netherlands Environmental Assessment Agency. (2020). Climate Change and Spatial Planning in the Netherlands. PBL.
- Netherlands Environmental Assessment Agency. (2021). Environmental Assessment Guidelines for Climate Integration. PBL.
- Netherlands Environmental Assessment Agency. (2022). Natural Capital Accounting in Infrastructure Assessment. PBL.
- NIBE. (2021). Dutch LCA Database for Infrastructure Materials. Netherlands Institute for Building Biology and Ecology.
- Rijkswaterstaat. (2020). Multi-Functional Infrastructure Design Guidelines. Ministry of Infrastructure and Water Management.
- Rijkswaterstaat. (2021). Hydraulic Boundary Conditions for Flood Protection Infrastructure. Ministry of Infrastructure and Water Management.

Estados Unidos

- AASHTO. (2021). Guidelines for Transportation Asset Management and Climate Change. American Association of State Highway and Transportation Officials.
- ASCE. (2018). Policy Statement 418: Climate Resilient Infrastructure. American Society of Civil Engineers.
- CEQ. (2021). National Environmental Policy Act Climate Guidance. Council on Environmental Quality.
- Congress. (2021). Infrastructure Investment and Jobs Act. 117th Congress.
- Department of Energy. (2021). Clean Energy Infrastructure Investment Strategy. U.S. Department of Energy.
- Department of Transportation. (2021). Climate and Extreme Weather Vulnerability Assessment Framework. U.S. Department of Transportation.
- DHS. (2020). Critical Infrastructure Resilience Guidelines. Department of Homeland Security.
- DOT. (2021). Transportation Climate Adaptation and Resilience Plan. U.S. Department of Transportation.
- EPA. (2020). Guidelines for Preparing Economic Analyses. U.S. Environmental Protection Agency.

- EPA. (2021). Greenhouse Gas Reporting Program. U.S. Environmental Protection Agency.
- FEMA. (2020). Building Resilient Infrastructure and Communities Program. Federal Emergency Management Agency.
- FEMA. (2021). Federal Flood Risk Management Standard. Federal Emergency Management Agency.
- GAO. (2021). Climate Change: Federal Efforts to Reduce Fiscal Exposure. Government Accountability Office.
- National Academy of Sciences. (2021). Reflecting Sunlight: Recommendations for Solar Geoengineering Research and Research Governance. National Academies Press.
- NOAA. (2019). Economics of Climate Adaptation Methodology. National Oceanic and Atmospheric Administration.
- NOAA. (2021). Climate Explorer and U.S. Climate Resilience Toolkit. National Oceanic and Atmospheric Administration.
- ONESF (2020). Lifelines Restoration Performance Improvement Plan.
- OMB. (2021). Circular A-4: Regulatory Impact Analysis. Office of Management and Budget.
- USACE. (2021). Engineering with Nature Guidelines. U.S. Army Corps of Engineers.
- U.S. Global Change Research Program. (2018). Fourth National Climate Assessment. U.S. Global Change Research Program.
- White House. (2021). Executive Order 14008: Tackling the Climate Crisis at Home and Abroad. The White House.

Referencias transnacionales

- OECD. (2020). Climate-resilient Infrastructure: Policy Perspectives. OECD Publishing.
- OECD. (2020). Climate Resilient Infrastructure: Denmark Country Profile. OECD Publishing.
- OECD. (2021). Climate Resilience: From Commitment to Action. OECD Publishing.
- OECD. (2021). Water Governance in the Netherlands: Fit for the Future? OECD Publishing.
- European Environment Agency. (2021). Climate Change Adaptation in Infrastructure: European Best Practices. EEA.

Referencias generales

- DIPRES - PNUD (2024a). Guía para la Identificación y Clasificación del Gasto Público en Cambio Climático
- DIPRES - PNUD (2024b). Instructivo para la Incorporación de Descriptores de Cambio Climático

Capítulo 4. Aplicación de Herramienta

Herramienta y adecuaciones SNI

American Association of State Highway and Transportation Officials [AASHTO]. (2024). LRFD Bridge Design Specifications, 10th Edition. Recuperado de: <https://store.transportation.org/item/collectiondetail/268>

Arrow, K. J., & Lind, R. C. (1970). Uncertainty and the evaluation of public investment decisions. *American Economic Review*, 60(3), 364-378. Recuperado de: <https://www.jstor.org/stable/1821490>

Banco Mundial [BM]. (2024). Climate Adaptation Costing in a Changing World. Recuperado de: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/099050224072021662/pdf/P179070-40a072be-bcc8-419a-b5d0-2d978862b4ff.pdf>

Centro de Investigacion para la Gestion Integrada del Riesgo de Desastres [CIGIDEN]. (2019). 28 years after the Antofagasta alluvium, new studies warn that there are still vulnerable territories. Recuperado de: <https://www.cigiden.cl/28-years-after-the-antofagasta-alluvium-new-studies-warn-that-the-re-are-still-vulnerable-territories/>

EurOtop [EurOtop]. (2018). Manual on wave overtopping of sea defences and related structures: An overtopping manual largely based on European research, but for worldwide application. Recuperado de: <https://www.overtopping-manual.com/eurotop/downloads/>

Federal Emergency Management Agency [FEMA]. (2023). Designing for Flood Levels Above the Minimum Required Elevation After Hurricane Ian. Recuperado de: https://www.fema.gov/sites/default/files/documents/fema_mat-hurricane-ian-recovery-advisory-1.pdf

Federal Highway Administration [FHWA]. (2020). FHWA - Hydraulic Engineering Circular 25. Recuperado de: <https://www.fhwa.dot.gov/engineering/hydraulics/pubs/hif19059.pdf>

Gascoin, S., Kinnard, C., Ponce, R., Lhermitte, S., MacDonell, S., & Rabatel, A. (2011). Glacier contribution to streamflow in two headwaters of the Huasco River, Dry Andes of Chile. *The Cryosphere* 5: 1099-1113. <https://doi.org/10.5194/tc-5-1099-2011>

Ginbo, T., Di Corato, L., & Hoffmann, R. (2020). Investing in climate change adaptation and mitigation: A methodological review of real-options studies. *Ambio*, 50(1), 229-241. Recuperado de: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7708567/>

Gollier, C. (2002). Discounting an uncertain future. *Journal of Public Economics*, 85(2), 149-166. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0047272701000792>

- HM Treasury. (2022). The Green Book: Central government guidance on appraisal and evaluation. HM Treasury, United Kingdom. Recuperado de: https://assets.publishing.service.gov.uk/media/6645c709bd01f5ed32793cbc/Green_Book_2022_updated_links.pdf
- Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC]. (2021). IPCC Sixth Assessment Report, Chapter 4: Water. Recuperado de: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/chapter/chapter-4/>
- Molecular Diversity Preservation International [MDPI]. (2020). An Inter-Comparison of the Holiday Climate Index (HCI:Beach) and the Tourism Climate Index (TCI) to Explain Canadian Tourism Arrivals to the Caribbean (M. Rutt, et al). Recuperado de: <https://www.mdpi.com/2073-4433/11/4/412>
- Molecular Diversity Preservation International [MDPI]. (2024). Climate Risk and Its Impact on the Cost of Capital—A Systematic Literature Review (L. Meneses, et al). Recuperado de: <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/23/10727>
- National Aeronautics and Space Administration [NASA]. 2015. Flooding in the Chilean Desert. Recuperado de: <https://www.earthobservatory.nasa.gov/images/85685/flooding-in-the-chilean-desert>
- National Cooperative Highway Research Program [NCHRP]. (2014). Climate Change, Extreme Weather Events and the Highway System: A Practitioner's Guide. Recuperado de: https://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp/docs/NCHRP20-83%2805%29_AdaptationGuidanceDoc.pdf
- Pizarro, R., Valdes-Pineda, R., Garcia-Chevesich, P., & Ibanez, A. (2022). The Large-Scale Effect of Forest Cover on Long-Term Streamflow Variations in Mediterranean Catchments of Central Chile. Sustainability 14(8): 4443. <https://doi.org/10.3390/su14084443>
- Rivera-Vidal, R., Arumi, J.L., Melo, O., Delgado, V., Parra, V., Stehr, A., & Daniele, L. (2025). Managed aquifer recharge implementation challenges: Lessons from Chile's water-scarce regions. Groundwater for Sustainable Development 31: 101502. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2025.101502>
- Stern, N. (2006). The economics of climate change: The Stern Review. Cambridge University Press. Recuperado de: https://webarchive.nationalarchives.gov.uk/ukgwa/20100407172811/https://www.hm-treasury.gov.uk/stern_review_report.htm
- Taylor and Francis [TANF]. (2019). Bridges in a changing climate: a study of the potential impacts of climate change on bridges and their possible adaptations (A. Nasr et al). Recuperado de: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15732479.2019.1670215>

U.S. Department of Transportation [US-DOT]. (2023). Benefit-Cost Analysis Guidance for Discretionary Grant Programs. Recuperado de: <https://www.transportation.gov/sites/dot.gov/files/2023-12/Benefit%20Cost%20Analysis%20Guidance%202024%20Update.pdf>

United Nations Office for Disaster Risk Reduction [UNDRR]. (2025). Latin America and the Caribbean move to strengthen Multi-Hazard Early Warning Systems for climate resilience. <https://www.undrr.org/news/latin-america-and-caribbean-move-strengthen-multi-hazard-early-warning-systems-climate>

Weitzman, M. L. (2001). Gamma discounting. American Economic Review, 91(1), 260-271. Recuperado de: <https://www.aeaweb.org/articles?id=10.1257/aer.91.1.260>

Xu, M., Bravo de Guenni, L., & Córdova, J. R.(2024). Climate change impacts on rainfall intensity–duration–frequency curves in local scale catchments. Environmental Monitoring and Assessment, 196(4), 372. Recuperado de: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10943172/>

Adicionales

Ministerio de Desarrollo Social y Familia [MDSF]. (2024). Informe de actualización, Tasa social de descuento. Recuperado de: https://sni.gob.cl/storage/docs/Actualizacion_Tasa_Social_de_Descuento.pdf

Ministerio de Desarrollo Social y Familia [MDSF]. (2014). Estimación de la Tasa Social de Descuento en el Largo Plazo en el Marco del Sistema Nacional de Inversiones. Recuperado de: <https://sni.gob.cl/storage/docs/Informe-FINAL-Tasa-Social-de-Descuento-Largo-Plazo.pdf>

Ministerio del Medio Ambiente. (2022). *Ley N.º 21.455: Ley Marco de Cambio Climático*. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. Recuperado de <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1177286>

Ministerio del Medio Ambiente. (2025). Contribución Determinada a Nivel Nacional de Chile (NDC) 2025–2035. <https://cambioclimatico.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2025/09/NDC-2025-2035.pdf>

Ministerio del Medio Ambiente. (2021). Estrategia Climática de Largo Plazo de Chile (ECLP). Gobierno de Chile. <https://cambioclimatico.mma.gob.cl/estrategia-climatica-de-largo-plazo-2050/descripcion-del-instrumento/>

Ministerio del Medio Ambiente. (2020). *Estrategia Financiera frente al Cambio Climático (EFCC)*.

<https://cambioclimatico.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2020/04/Estrategia-financiera.pdf>

Ministerio de Hacienda. Taxonomía de actividades económicas MAS.

<https://www.hacienda.cl/areas-de-trabajo/finanzas-internacionales/finanzas-sostenibles/taxonomia-para-actividades-economicas-medioambientalmente-sostenibles>

Financial Relief and Losses and Damages (FRLD). (n.d.). *[Title of the document]*.

https://www.frlid.org/sites/default/files/FRLD_BIM_1_Terms%20of%20Reference.pdf

Naciones Unidas. (2015). Acuerdo de París en virtud de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Naciones Unidas.

<https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>

Capítulo 5. Procedimiento de integración del Precio Social del Carbono

Banco Mundial [BM]. (2017). Partnership for Market Readiness. (2017). Guía del impuesto al carbono: Un manual para creadores de política. Apéndice: Estudios de caso del impuesto al carbono.

Recuperado

de:

<https://documents1.worldbank.org/curated/en/953371535608358671/pdf/129668-V1-WP-SPANISH-PUBLIC.pdf>

Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL]. F. Cartes Mena, (2021). “Metodología para la estimación del precio social del carbono en Chile y los países de América Latina y el Caribe”, Documentos de Proyectos (LC/TS.2021/72), Santiago. Recuperado de: <https://www.cepal.org/es/publicaciones/46957-metodologia-la-estimacion-precio-social-carbono-chile-paises-america-latina>

Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL]. Pica y otros, (2024). “Estimación del precio social del carbono para la evaluación de la inversión pública en Chile”, Documentos de Proyectos (LC/TS.2024/110), Santiago. Recuperado de: <https://www.cepal.org/es/publicaciones/80999-estimacion-precio-social-carbono-la-evaluacion-la-inversion-publica-chile>

Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL]. S. Vicuña, (2020). “Simulaciones del precio social del carbono en el sector de la infraestructura en países seleccionados de América Latina”, Documentos de Proyectos (LC/TS.2020/126), Santiago. Recuperado de:

<https://cambioglobal.uc.cl/wp-content/uploads/2023/09/20200302-CEPALINFRAPSC_Informe_Fi...>

Construye 2025, Corporación de Fomento de la Producción [CORFO]. (2020). Hoja de Ruta RCD Economía Circular en Construcción 2035. Recuperado de: <https://construye2025.cl/wp-content/uploads/2022/07/Hoja-de-Ruta-RCD-Economia-Circular-en-Construccion.pdf>

Ministerio de Desarrollo Social y Familia [MDSF]. (2021) , Manual de la herramienta ECSE 2, División Evaluación Social de Inversiones. Recuperado de: https://sni.gob.cl/storage/docs/Manual_de_uso_de_la_herramienta_ECSE_V2_SNI.pdf

Ministerio de Desarrollo Social y Familia [MDSF]. (2024). *Nueva actualización del Precio Social del Carbono busca incentivar proyectos públicos que reduzcan las emisiones de CO₂*. Recuperado de: <https://www.desarrollosocialyfamilia.gob.cl/noticias/nueva-actualizacion-del-precio-social-del-carbono-busca-incentivar-proyectos-publicos-que-reduzcan-l>

Ministerio de Desarrollo Social y Familia [MDSF]. (2025a). Metodología General para la Formulación y Evaluación de Proyectos de Inversión Pública. Recuperado de: https://sni.gob.cl/storage/docs/METODOLOGIA_GENERAL_2025.pdf

Ministerio de Desarrollo Social y Familia [MDSF]. (2025b). Reporte anual de Precios Sociales 2025. Recuperado de: <https://www.scribd.com/document/852477979/Precios-Sociales-2025>

Ministerio del Medio Ambiente [MMA].(2021). Estrategia Climática de Largo Plazo de Chile (ECLP). Gobierno de Chile. <https://cambioclimatico.mma.gob.cl/estrategia-climatica-de-largo-plazo-2050/descripcion-del-instrumento/>

Ministerio del Medio Ambiente [MMA]. (2022). Ley N.º 21.455: Ley Marco de Cambio Climático. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. Recuperado de <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1177286>

Ministerio de Obras Públicas - Dirección General de Obras Públicas. [MOP-DGOP]. (2023). “Análisis de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en proyectos aeroportuarios y de conectividad [Informe]” . EBP Chile. Recuperado de: <https://cambioclimatico.mop.gob.cl/archivos/sites/2/2024/12/14.-Analisis-de-reduccion-de-emision-de-GEI-en-proyectos-aeroportuarios-y-de-conectividad-MOP-2023-15-07-23.pdf>

Ministério de Obras Públicas [MOP]. (2025a). Guía de Huella de Carbono del Ministerio de Obras Públicas (División de Infraestructura Sostenible (DIS & Departamento de Sostenibilidad y Cambio Climático (DSyCC), Eds.). Recuperado de:

https://dgop.mop.gob.cl/uploads/sites/5/2025/07/Guia_de_Huella_de_Carbono_para_proyectos_del_MOP_2025.pdf

Ministério de Obras Públicas [MOP]. (2025b). Plan de Adaptación y Mitigación al Cambio Climático - Sector Infraestructura. (2025). Recuperado de: https://cambioclimatico.mop.gob.cl/archivos/sites/2/2025/05/Plan-de-Cambio-Climatico-Sector-Infraestructura-2025_web.pdf



Anexos

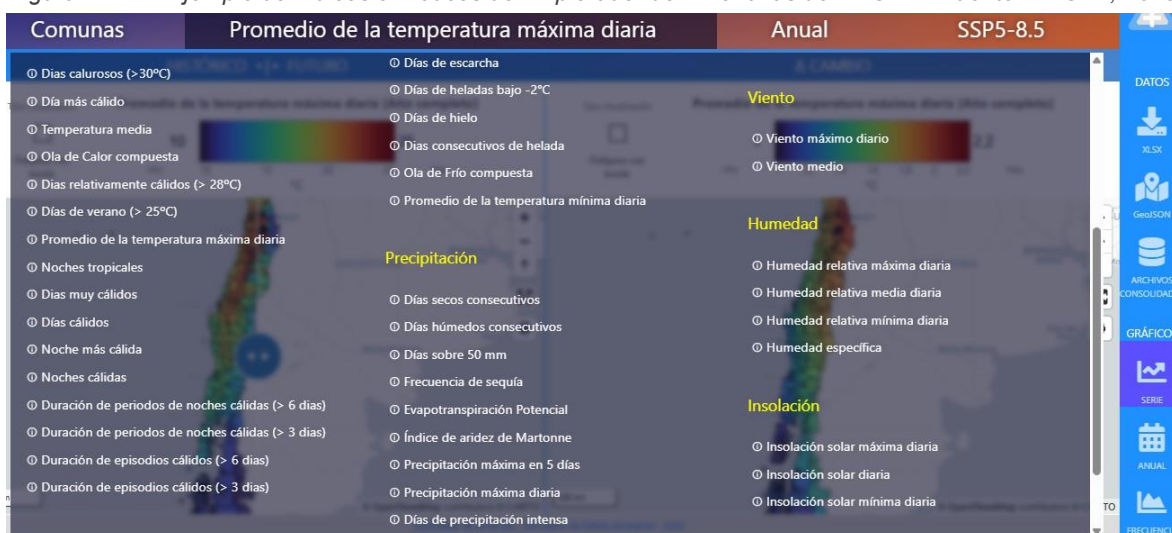
Anexos

Anexo 2-1 | ARCLIM

A. Explorador de Amenazas Climáticas

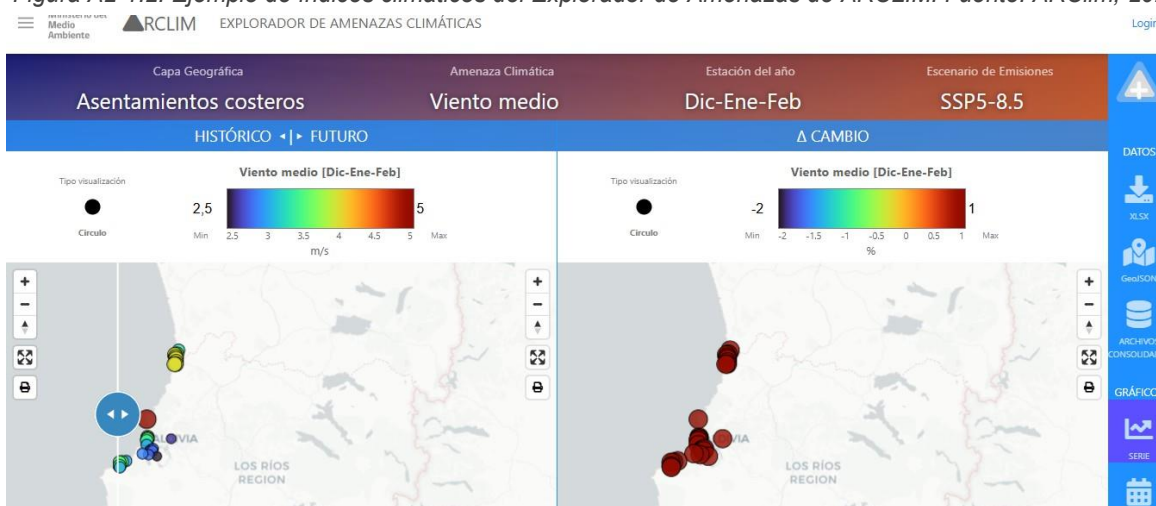
Se presenta índices climáticos del Explorador de ARCLim, que permiten cuantificar diversas amenazas climáticas en el territorio nacional, para el periodo histórico reciente (1980-2010) y futuro cercano (2035 – 2065, bajo escenarios de emisiones futuras) (Figura A2-1.1).

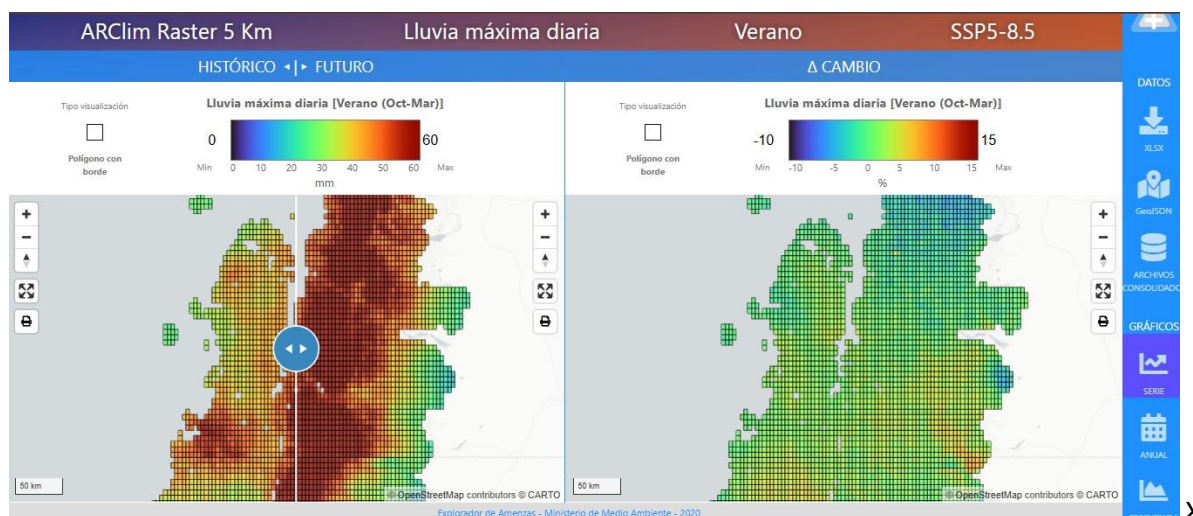
Figura A2-1.1. Ejemplo de índices climáticos del Explorador de Amenazas de ARCLIM. Fuente: ARCLim, 2020.



Se muestra el visualizador utilizando el índice climático de **viento medio** en los asentamientos costeros de la región de Los Ríos (arriba) y Lluvia máxima diaria utilizando la capa ARCLim Raster 5km (abajo), para los escenarios histórico y futuro (izq.) y cambio entre estos periodos (der.) (Figura A2-1.2).

Figura A2-1.2. Ejemplo de índices climáticos del Explorador de Amenazas de ARCLIM. Fuente: ARCLim, 2020



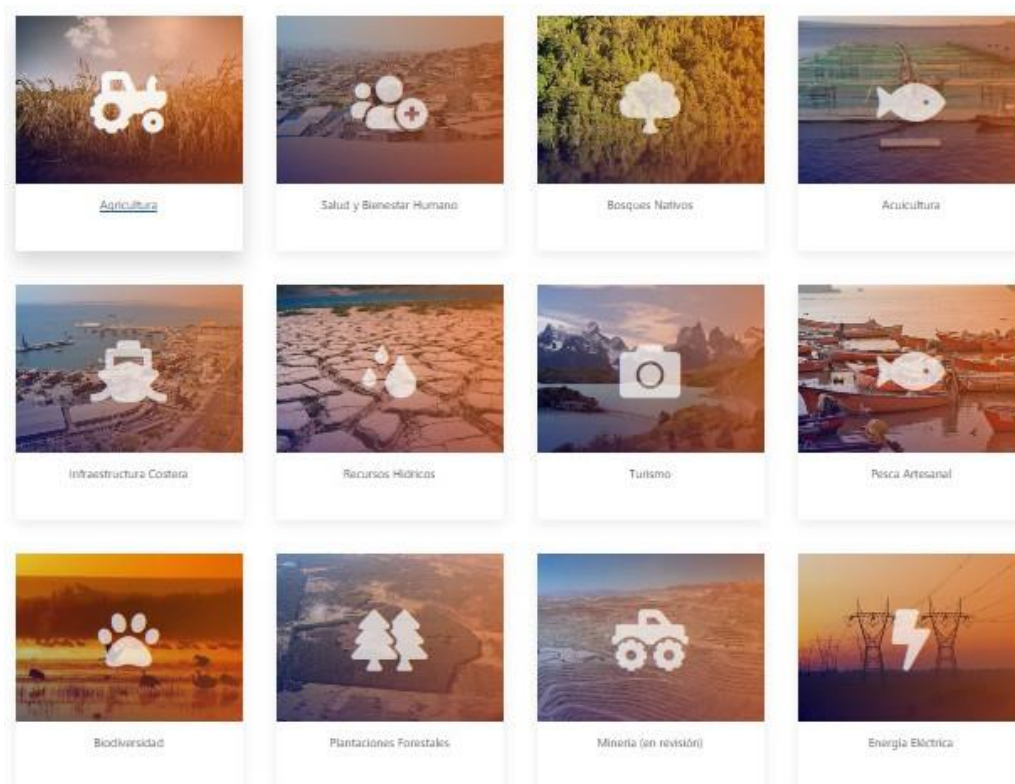


B. Cadenas de impacto en ARCLIM

Mediante el Mapa de Riesgos Climáticos se tiene acceso a 62 cadenas de impacto de cambio climático organizadas en 12 sectores, desplegadas mediante mapas de amenaza climática (A), exposición (E) y sensibilidad (S) del sistema afectado, con cobertura nacional y resolución comunal o puntual, para algunas cadenas. Las variables del riesgo se combinan para determinar el nivel de riesgo debido al cambio climático (Figura A2-1.3).



Figura A2-1.3. Sectores para los que se han desarrollado cadenas de impacto en ARClím.

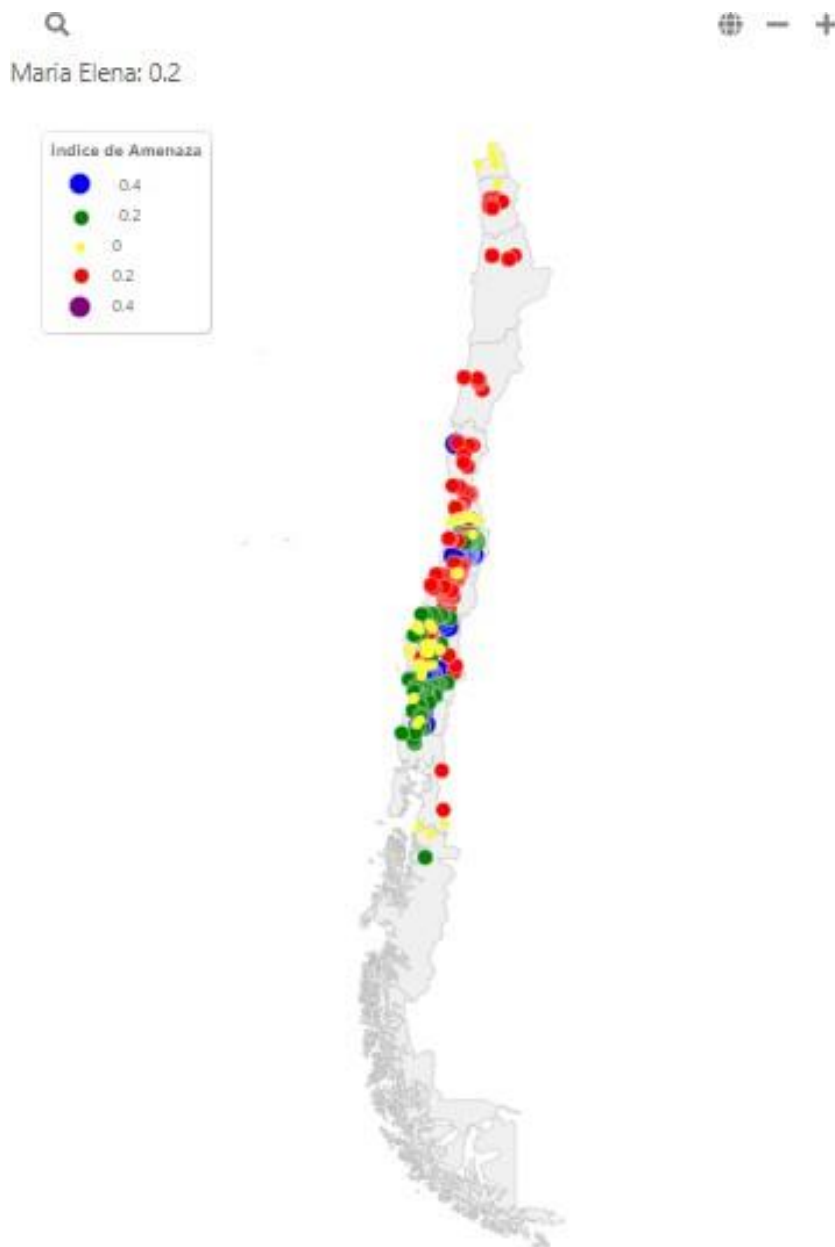


Algunas de las cadenas de impacto referenciales relacionadas a las tipologías priorizadas, en que se puede revisar el nivel de amenaza, exposición, sensibilidad y riesgo, que se recomienda revisar son:

- **Salud y bienestar humano:** cadena Anegamientos de asentamientos costeros
- **Recursos hídricos:** cadenas de 1) Inundaciones por desbordes de ríos; 2) Inundaciones en zonas urbanas.

Amenazas

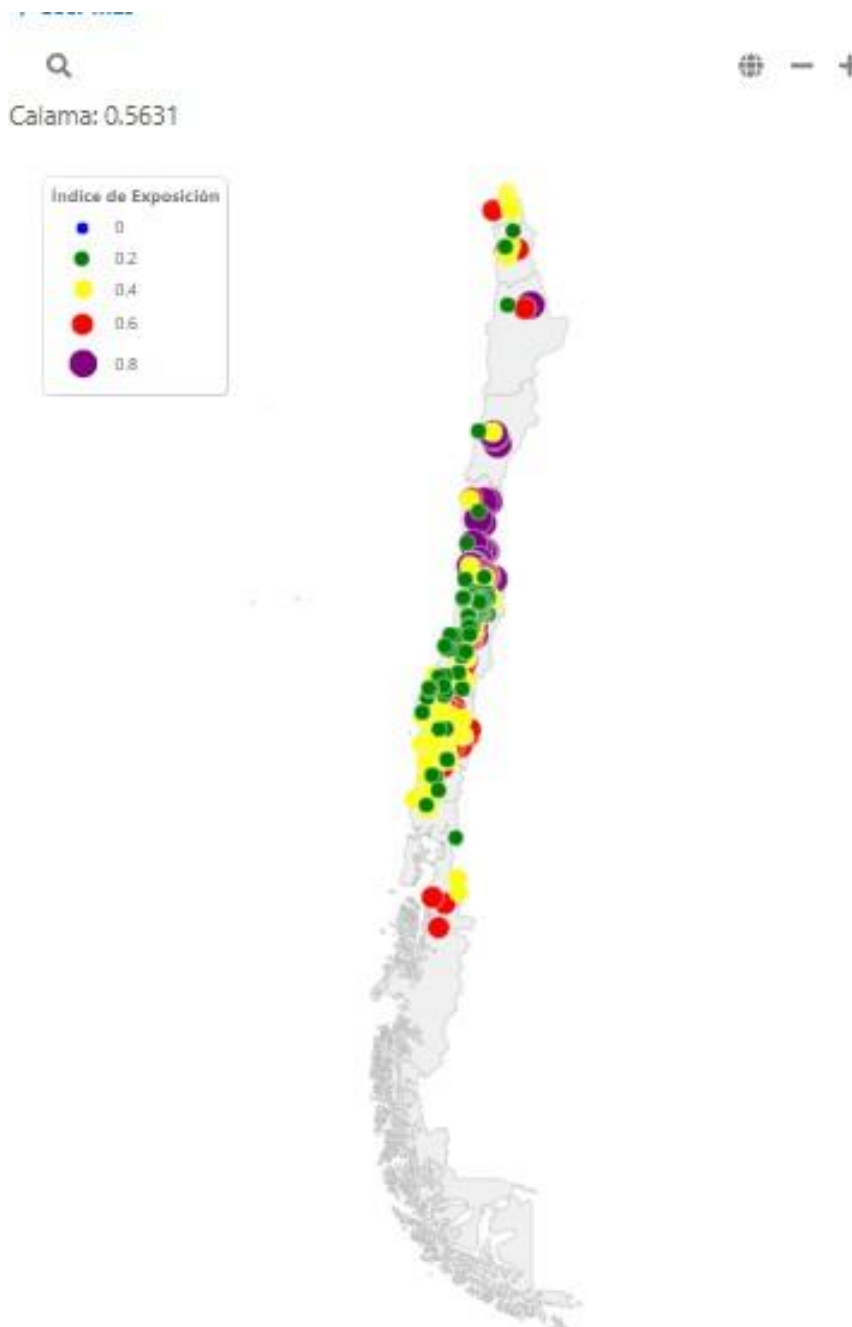
El mapa muestra cómo los centros urbanos se ven afectados por inundaciones por desbordamientos de ríos debido al cambio en los eventos de precipitación extrema entre el período presente y futuro. Para ello se muestra el cambio en el nivel de amenaza asociada a la severidad de la crecida evaluada



Exposición

La exposición considera la densidad de infraestructura crítica, siendo ésta, todas las obras hidráulicas contenidas en un buffer de 2 km.

Además, considera el porcentaje del área de centro urbano que queda expuesto a la inundación por desborde ríos. Esta métrica ha sido escalada, asignando un valor de 0,98 al centro urbano con mayor exposición



Sensibilidad

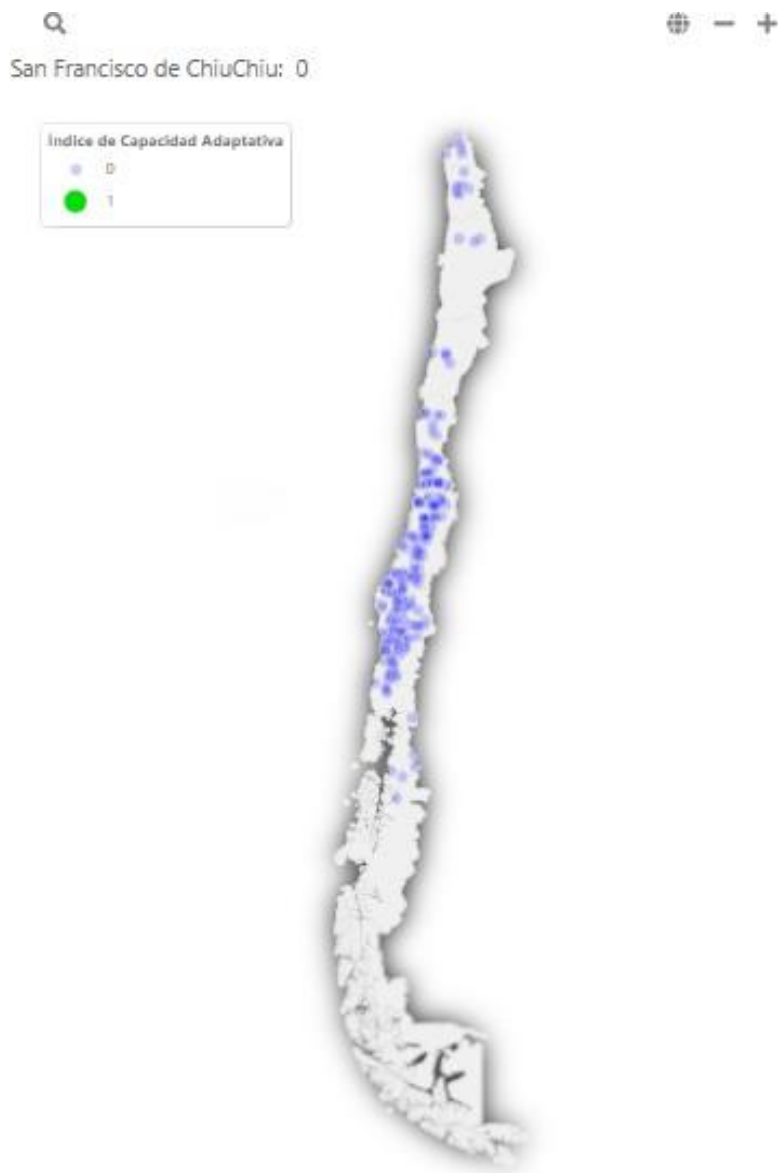
La sensibilidad contempla la vulnerabilidad media de las obras hidráulicas, la cual se basa en el período de retorno de diseño de las obras hidráulicas respecto del período de retorno de la crecida evaluada. Por otro lado, considera una escala cualitativa de vulnerabilidad donde son evaluadas las características del cauce y las obras de defensa fluvial colindantes a él.

Los Loros: 0,6579



Capacidad Adaptativa

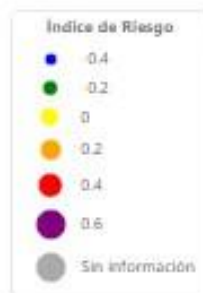
Porcentaje de
infraestructura
crítica (obras
hidráulicas)
nuevas y
existentes con
criterios de diseño
con
consideraciones
de adaptación al
cambio climático



Riesgo

El mapa muestra cambio en el nivel del riesgo asociado a inundaciones por desbordamientos de ríos en distintos centros urbanos de Chile debido al cambio climático. El índice desplegado en el mapa da cuenta de los cambios en la susceptibilidad que presentan los centros urbanos de sufrir un mayor o menor impacto adverso frente a eventos de precipitación extrema desencadenante en un desborde de río, condición climática histórica y actual.

🔍
Copiapó: 0.2559



C. Ejemplos por tipología para la construcción de una cadena de impacto descriptiva

Tabla A2-1.1. Tabla tipo para la construcción de una cadena de impacto descriptiva (simplificada)

Tipología	Amenaza(s)	Exposición	Vulnerabilidad	Modo de falla (principal)	Impactos potenciales (CCD)	Nivel de riesgo (cualitativo)	Justificación nivel de riesgo
Protección del borde costero	Aumento del nivel del mar y marejadas más frecuentes/intensas	Infraestructura en primera línea, tramo expuesto a oleaje.	Obra rígida, diseño basado en series históricas. Criticidad: protege la ruta costera.	Socavación o sobrepaso.	Daños recurrentes y pérdida de continuidad del servicio, degradación progresiva.	Alto - Muy Alto	Probabilidad alta (amenaza recurrente + alta exposición). Consecuencia alta (daño reiterado + interrupciones + criticidad del activo protegido)
Control aluvional	Lluvias intensas; alta escorrentía; remociones en masas	Obra emplazada en quebrada activa. Aguas abajo presencia de población e infraestructura.	Diseño basado en series históricas, desempeño con alta dependencia de mantenimiento. Criticidad: protege zonas habitadas.	Colmatación o desvío no controlado.	Pérdida de funcionalidad en momento crítico, aluvión/inundación aguas abajo, daños severos a infraestructura y potencial afectación a personas.	Muy Alto	Probabilidad alta (exposición directa + eventos gatillantes). Consecuencia muy alta (afectación aguas abajo en zona habitada; potencial daño severo y riesgo a población)
Puentes	Precipitaciones extremas, crecidas repentinas	Puente cruza cauce activo; cuenca de rápida respuesta; erosión lateral aguas arriba.	Fundaciones expuestas, lenta recuperación si hay daño a fundaciones. Criticidad: conectividad.	Socavación de estribos (pérdida de soporte).	Corte de conectividad (corte/cierre de tránsito), posible pérdida de capacidad hidráulica, disminución de capacidad del servicio vial.	Alto – Muy alto	Probabilidad media-alta (dependiente de cuenca + exposición). Consecuencia alta (pérdida de conectividad y costos/tiempos). Sube a Muy Alto si no hay rutas alternativas o es corredor crítico

Anexo 2-2 | Ejemplos de matriz sin vs con proyecto (A-E-V-R) e indicadores por tipología

Este anexo presenta ejemplos ilustrativos de cómo operacionalizar la comparación Sin vs Con Proyecto desde la perspectiva del riesgo climático, mostrando la evolución de los componentes Amenaza-Exposición-Vulnerabilidad-Riesgo y su traducción en indicadores medibles.

Los valores presentados en estos ejemplos son ilustrativos para fines de capacitación y orientación metodológica. Cada proyecto específico debe:

- Calcular sus propios valores de amenaza, exposición y vulnerabilidad según estudios de base y modelaciones específicas
- Utilizar escenarios climáticos oficiales (CR2, DGA, DMC) apropiados para su localización
- Definir indicadores relevantes a su contexto y objetivos particulares
- Justificar la selección de horizontes temporales según vida útil de la infraestructura
- La estructura presentada es aplicable a cualquier proyecto que requiera integrar cambio climático en su evaluación socioeconómica.

EJEMPLO 1: PUENTES

Caso: Puente con aumento proyectado de caudales extremos (+30% al 2050)

Matriz Sin vs Con Proyecto

Componente	Sin Proyecto	Con Proyecto
Amenaza (A)	Crecidas Q100 aumentan 30%	Sin cambio
Exposición (E)	Estribos en zona de erosión, accesos en cota inundable	Estribos retraídos, accesos elevados
Vulnerabilidad (V)	Probabilidad de falla: 40%	Probabilidad de falla: <5%
Riesgo (R)	Pérdida anual: \$120M	Pérdida anual: \$18M

Indicadores

Indicador	Sin Proyecto	Con Proyecto
Días de cierre/año	15 días	2 días
Costos de reparación anualizados	\$85M	\$12M

EJEMPLO 2: CONTROL ALUVIONAL

Caso: Cauce con aumento de flujos aluvionales (+45% sedimentos al 2060) en zona urbana

Matriz Sin vs Con Proyecto

Componente	Sin Proyecto	Con Proyecto
Amenaza (A)	Flujo aluvional aumenta 45%	Sin cambio
Exposición (E)	850 viviendas en cono de deyección	Viviendas protegidas por diques
Vulnerabilidad (V)	Cauce colapsa con Q50. Sin alerta	Capacidad ampliada + sistema de alerta
Riesgo (R)	Daño anual: \$450M	Daño anual: \$55M

Indicadores

Indicador	Sin Proyecto	Con Proyecto
Área urbana protegida	0 ha	125 ha
Población en riesgo alto	3,200 personas	280 personas

EJEMPLO 3: PROTECCIÓN COSTERA

Caso: Borde costero con marejadas intensificadas (+29%) y aumento nivel del mar (+0.45 m al 2050)

Matriz Sin vs Con Proyecto

Componente	Sin Proyecto	Con Proyecto
Amenaza (A)	Olas aumentan 29%, mar sube 0.45 m	Sin cambio
Exposición (E)	1,200 m sin defensa, borde inundable	1,200 m con defensa, paseo elevado
Vulnerabilidad (V)	Sobrepaso: 80%. Cierre: 25 días/año	Sobrepaso: <15%. Cierre: <3 días/año
Riesgo (R)	Pérdida anual: \$280M	Pérdida anual: \$45M

Indicadores

Indicador	Sin Proyecto	Con Proyecto
Borde protegido	0 m	1,200 m
Operatividad turística	285 días/año	345 días/año

Anexo 2-3 | Fuentes disponibles e integración de amenazas climáticas

Las siguientes tablas son un insumo complementario para ser utilizado durante la formulación de proyectos de infraestructura, con el propósito de sustentar supuestos y uniformar la integración del cambio climático en el diagnóstico, especialmente cuando aún no existen estudios específicos vinculados a etapas más avanzadas en el ciclo de vida del proyecto.

Tabla de fuentes secundarias disponibles

Tabla A2-3.1. Fuentes secundarias disponibles con datos del gobierno de Chile e instituciones académicas, organizadas por amenaza como insumo complementario para la formulación de proyectos.

Amenaza	Fuente	Descripción
Lluvias intensas, crecidas e inundaciones	DGA – Estadísticas y red hidrométrica	Series de caudal y lluvia por estación; metadatos de estaciones y descargas. Útil para umbrales de crecida, caudales pico de diseño y validación local.
	DGA – Visualizadores (precipitación, nieve, embalses, temperatura)	Visores temáticos con capas por variable hidrometeorológica; exploración rápida de condiciones y estaciones.
	Geoportal de Chile – Estaciones Fluviométricas (IDE Chile)	Capa geoespacial de ubicación de estaciones DGA para integrar en SIG de proyectos.
	Geoportal de Chile – Precipitaciones Máximas Diarias	Cartografía digitalizada de precipitaciones máximas (períodos de retorno). Útil para estimaciones preliminares cuando faltan curvas IDF locales.
	SENAPRED – Fichas y contenidos de inundaciones	Marco oficial de amenaza/impacto. No es un visor, pero sirve para tipificar eventos y criterios operativos.
	Escenarios SSP / GCM (CMIP6)	Proyecciones climáticas globales bajo escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5. Base de datos de modelos CMIP6 utilizados en el IPCC AR6.
	ERA5 (ECMWF / Copernicus C3S)	Reanálisis atmosférico global de quinta generación producido por el ECMWF. Provee estimaciones horarias de variables atmosféricas, terrestres y oceánicas en una grilla de ~31 km y 137 niveles verticales, desde enero de 1940 hasta el presente. Permite obtener series de precipitación,

Amenaza	Fuente	Descripción
		temperatura, viento y oleaje a escala horaria para análisis de eventos extremos, construcción de curvas IDF y caracterización del período histórico base.
Remociones en masa	1. SERNAGEOMIN – Catastro/visor de Remociones en Masa Mapa (ArcGIS) ; 2. Dashboard	Inventarios georreferenciados de eventos (fechas, tipología, ubicación). Base fundamental para calibrar susceptibilidad y evidencias históricas.
	SERNAGEOMIN – Mapas de peligros geológicos (varias escalas) Catálogo bibliográfico	Hojas de peligros por remociones en masa a distintas escalas (provincial/urbana). Útiles para la zonificación preliminar.
Aumento del nivel medio del mar (SLR)	SHOA – Portal institucional	Acceso a productos de nivel del mar, cartas y mareógrafos; metadatos y documentación técnica.
	Plataforma de Datos del Estado – Serie de mareógrafos SHOA	Dataset con mediciones de nivel del mar por estación (presión/radar). Base para tendencias de SLR y extremos locales.
	ARClm (MMA) – Zonas costeras/SLR	Capas de exposición a SLR y riesgo costero a distintos horizontes. Útil para escenarios. Incluye una cadena de impacto compuesta entre SLR e intensidad de marejadas.
Marejadas	1. DIRECTEMAR – Avisos de marejadas y pronóstico marítimo Avisos 2. Servicio Meteorológico Armada	Alertas operativas y pronósticos de estado de mar. Útiles para gestión y evidencia de recurrencia.
	MOP – Pronóstico de oleajes (portal sectorial)	Pronósticos de oleaje para apoyo a obras/operación. Complementa la información de la Armada.
	Armada – Nota técnica sobre boyas y monitoreo de oleaje	Describe la red de boyas del SHOA (contexto de datos in situ para validación local).

Tabla de síntesis de fuentes principales

La Tabla A2-3.2 ofrece una síntesis de las principales fuentes de información disponibles, válidas para las tres tipologías (puentes, control aluvional, borde costero) y aplicables en

norte/centro/sur, con un par de notas específicas por macrozona cuando corresponda. La idea es cubrir (i) observaciones, (ii) evidencia de impactos, y (iii) proyecciones SSP2-4.5/SSP5-8.5 sin que implique una mayor carga de trabajo en la etapa de formulación.

Tabla A2-3.2. Síntesis de las principales fuentes de información disponibles, válidas para las tres tipologías, para la integración climática en etapa de formulación

Fuente	Descripción; Uso; Macrozona
ERA5 (ECMWF / Copernicus C3S) Reanálisis global / datos horarios	Descripción (todas las tipologías): reanálisis atmosférico global de quinta generación, con cobertura desde enero de 1940 hasta el presente. Provee datos horarios de precipitación, temperatura, viento y oleaje en una grilla de ~31 km. Permite construir series de eventos extremos a escala horaria, necesarias para análisis de crecidas rápidas, curvas IDF y diseño hidráulico cuando no existen estaciones locales con resolución suficiente. Uso: series horarias y diarias de precipitación y temperatura; análisis de extremos; relleno de vacíos en registros observados; caracterización del período histórico base. Macrozona: aplicable en norte/centro/sur (cobertura global con resolución espacial uniforme). Disponible en Copernicus Climate Data Store (https://cds.climate.copernicus.eu).
ARClim (MMA) Proyecciones/es cenarios y lectura territorial	Descripción (todas las tipologías): base común interministerial para caracterizar amenaza futura y orientar zonas críticas, contrastando SSP2-4.5 y SSP5-8.5. Uso: mapas/capas de riesgo/impacto/indicadores climáticos (según disponibilidad regional), soporte para justificar “condición futura plausible” en formulación. Macrozona: igual en norte/centro/sur (clave para homogeneidad).
DGA (MOP) Red hidrométrica (caudales y precipitaciones)	Descripción (puentes y aluvional): línea base observada para lluvias intensas/crecidas/inundaciones; soporte para umbrales y evidencia local. La DGA elabora el Balance Hídrico Nacional con proyecciones de CC (versión con escenario RCP8.5), que utilizó 4 GCMs del CMIP5 ya validados para cuencas chilenas. Estos modelos pueden consultarse como referencia para la selección de GCM en proyectos a escala de proyecto. Uso: series de caudal y precipitación, máximos, estacionalidad, antecedentes de crecidas (cuando existan estaciones). Macrozona: • Norte: puede haber menor densidad de estaciones; igual es la referencia primaria. • Centro/sur: normalmente mejor cobertura para análisis de crecidas.
CR2MET (CR2) Reanálisis/datos gridded (precipitación/te	Descripción (puentes y aluvional, y apoyo general): consistencia espacial y apoyo cuando faltan series locales; útil para índices de extremos y comparación territorial. CR2MET provee datos en resolución temporal diaria y mensual para precipitación y temperatura, con cobertura nacional

temperatura) para completar vacíos	en resolución espacial de 5 km (período histórico 1960-presente). Los datos se obtienen a través del portal del Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR2, https://www.cr2.cl). Uso: caracterización climática base (1960–2021 aprox.) y análisis preliminar de extremos (p. ej., días de precipitación intensa). No entrega proyecciones futuras Macrozona: especialmente útil en norte y zonas con baja cobertura de estaciones.
SERNAGEOMIN Inventarios/visores de remociones en masa y peligros geológicos	Descripción (aluvional y accesos a puentes): evidencia territorial de susceptibilidad y ocurrencia histórica de remociones, aluviones, deslizamientos. Uso: identificar quebradas activas, registros de eventos y zonificación preliminar de peligros. Macrozona: • Norte: muy relevante por aluviones asociados a eventos extremos concentrados. • Centro/sur: relevante por deslizamientos asociados a lluvias persistentes y saturación.
SHOA / DIRECTEMAR (Armada) – Nivel del mar, marejadas y evidencia operativa costera	Descripción (borde costero): línea base observada (mareógrafos/nivel del mar) y evidencia operativa de marejadas (avisos/recurrencia). Uso: series de mareógrafos (donde existan), avisos de marejadas, antecedentes de condiciones de mar para sustentar amenaza actual. Macrozona: • Norte/centro/sur: aplicable en toda la costa; la disponibilidad de mareógrafos varía por localidad.
Síntesis de las principales fuentes de información	CMIP6 / ESGF Modelos climáticos globales del Coupled Model Intercomparison Project Phase 6, que sustentan los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5 utilizados en la herramienta BSAC. Incluye variables de precipitación, temperatura, nivel del mar y viento. Global (requiere downscaling para aplicación local) Earth System Grid Federation (ESGF). Para Chile: ARCLIM (https://arclim.mma.gob.cl) y CR2MET (https://www.cr2.cl) proveen datos escalados a resolución nacional.

Nota sobre GCM validados para cuencas chilenas:

Para proyectos en cuencas hidrográficas nacionales, la DGA utilizó 4 modelos GCM del CMIP5 bajo el escenario RCP8.5 en la elaboración del Balance Hídrico Nacional. Estos modelos constituyen una referencia ya validada para el contexto hidrológico chileno y pueden usarse como punto de partida para la selección de GCM en proyectos de control aluvional y obras hidráulicas, mientras no exista una actualización oficial al CMIP6 por parte de la DGA.

Cuadros operativos

Los siguientes cuadros por tipología vinculan fuentes principales, variables a extraer y producto mínimo para formulación y reportar.

Puentes

Amenazas principales: lluvias intensas, crecidas, inundación, socavación

Fuentes principales	Variable a extraer	Producto a reportar (mapa/serie/tabla)
CMIP6 / ESGF (escenarios SSP)	Proyecciones de precipitación y temperatura bajo SSP2-4.5 y SSP5-8.5; contraste entre escenarios para identificar tendencias de cambio en crecidas.	Mapa o tabla de condición futura (señal de cambio en precipitación extrema) + nota de interpretación para el horizonte de diseño.
ERA5 (ECMWF / Copernicus C3S)	Series horarias de precipitación para cuenca de interés; análisis de eventos extremos y construcción/ validación de curvas IDF a escala horaria.	Serie/tabla horaria de precipitación máxima; curvas IDF preliminares o validadas + justificación de uso.
DGA (MOP)	Series de caudal y/o precipitación (máximos, picos, recurrencia) en estaciones relevantes	Serie/tabla: estaciones, periodo, máximos/crecidas históricas y episodios relevantes
SENAPRED (opcional)	Registro de eventos/impactos (cierres, daños, afectación)	Tabla de eventos y consecuencias (fecha-lugar-impacto)

Nota por macrozona: Norte—priorizar ERA5 como soporte por menor densidad de estaciones DGA; Centro/Sur—DGA suele ofrecer mejor cobertura y ERA5 actúa como complemento para escala horaria. Para proyecciones futuras, utilizar CMIP6 con downscaling apropiado o los escenarios disponibles en ARCLim.

Control aluvional

Amenazas: lluvias intensas, remociones en masa, aluviones, sedimentos)

Fuentes principales	Variable a extraer	Producto a reportar (mapa/serie/tabla)
CMIP6 / ESGF (escenarios SSP)	Señal de cambio en precipitación extrema y capas de riesgo bajo SSP2-4.5 vs SSP5-8.5.	Mapa de condición futura/zonas críticas + nota de implicancia para el horizonte de diseño.
ERA5 (ECMWF / Copernicus C3S)	Series horarias de precipitación para quebradas y microcuencas sin estación; análisis de eventos gatillantes a escala horaria.	Serie/tabla horaria de precipitación máxima; identificación de eventos detonantes con umbral de gatillamiento
SERNAGEOMIN	Inventario/zonificación de remociones en masa; evidencia de eventos y susceptibilidad	Mapa de peligros/inventario + tabla de eventos relevantes
DGA (MOP)	Precipitación (y si aplica caudal) asociada a episodios gatillantes; máximos	Serie/tabla de precipitación máxima/episodios (estaciones cercanas)

SENAPRED (recomendado)	Impactos: evacuaciones, daños, cortes de ruta/servicios	Tabla de impactos por evento
-----------------------------------	---	------------------------------

Nota por macrozona: Norte—énfasis en SERNAGEOMIN + ERA5 (aluviones concentrados); Centro/Sur—énfasis en SERNAGEOMIN + DGA (lluvias persistentes/saturación y deslizamientos). Para proyecciones futuras, utilizar CMIP6 con downscaling apropiado.

Protección de borde costero

Amenazas: marejadas, inundación costera, erosión, nivel del mar)

Fuentes principales	Variable a extraer	Producto a reportar (mapa/serie/tabla)
ARClím (MMA)	Exposición/riesgo costero y/o señal de cambio relevante; SSP2-4.5 vs SSP5-8.5 (según disponibilidad) Cadena de impacto a utilizar: Anegamiento de asentamientos costeros.	Mapa de exposición futura + nota breve de implicancia, indicando uso de cadena de impacto: Anegamiento de asentamientos costeros.
SHOA	Serie de nivel del mar (mareógrafos) y extremos locales donde existan	Serie/tabla: estación, periodo, niveles extremos/tendencia (si aplica)
DIRECTEMAR / Armada	Avisos de marejadas (recurrencia, duración y periodos con afectación)	Tabla de marejadas (fecha—duración—afectación)
SENAPRED (cuando aplique)	Impactos en infraestructura y población (cortes, daños, evacuaciones)	Tabla de impactos por evento

Nota por macrozona: el set se mantiene para Norte/Centro/Sur; puede variar la disponibilidad local de mareógrafos SHOA. Si no hay estación cercana, reportar evidencia operativa (DIRECTEMAR) y efectos (SENAPRED) para sustentar recurrencia e impactos.

Anexo 2-4 | Caracterización del problema por tipología

Tabla A2-4.1. Caracterización del problema por tipología (lista de verificación para completar)

Tipología	Amenaza principal (actual/futura)	Zonas críticas (patrones)	Evidencia (histórica/territorial)	Efectos en servicio (continuidad/capacidad/de sempeño)	Brecha de resiliencia (síntesis)
Puentes					
Control aluvional					
Borde costero					

lista de verificación de salida mínima (para formulación):

- Mapa/croquis de área de influencia.
- Mapa de zonas críticas
- Tabla de eventos/daños/cierres relevantes.
- Nota breve de cómo cambia el problema bajo SSP2-4.5 vs SSP5-8.5 (supuestos y fuentes).

Anexo 2-5 | Clasificación cualitativa de significancia del nivel de riesgo climático en formulación

Objetivo

Esta propuesta simplificada mantiene el foco en **la decisión práctica** que debe tomar el formulador, reduciendo la complejidad a tres opciones claras y accionables. Su uso es para determinar si el riesgo climático (Amenaza + Exposición + Vulnerabilidad) es significativo para la decisión de la inversión formulada, clasificando el proyecto en **3 niveles de relevancia** que definen acciones específicas.

Descripción

- **Simple:** Solo 3 decisiones posibles facilitan la aplicación
- **Clara diferenciación:**
 - NO SIGNIFICATIVO = No hacer nada especial
 - MODERADO = Medidas de gestión (sin alternativas de inversión)
 - SIGNIFICATIVO = Alternativas de inversión (con opción de replantear en casos extremos)
- **Flexible:** El nivel SIGNIFICATIVO permite graduar la respuesta desde ajustes incrementales hasta cambios fundamentales
- **Sin umbrales arbitrarios:** Basada en juicio profesional cualitativo
- **Trazable:** Ficha de una página documenta todo el proceso
- **Proporcional:** Esfuerzo aumenta sólo cuando el riesgo justifica inversión adicional
- **Compatible con SNI:** Se integra naturalmente en el proceso de formulación existente

Metodología simplificada en 3 pasos

Nota: Los umbrales y clasificaciones de esta matriz constituyen una propuesta metodológica inicial, elaborada a partir de la revisión de experiencia internacional. Antes de su aplicación sistemática en el SNI, la matriz debe ser revisada y validada por expertos sectoriales de las Direcciones del MOP (DOH, DV, DOP) y por el equipo técnico del MDSF en el marco del Comité Técnico Interministerial (R7).

PASO 1: Evaluación rápida de componentes (Cualitativa)

Responder las siguientes preguntas con información disponible en formulación:

A) AMENAZA CLIMÁTICA

¿Cómo cambia la variable climática crítica bajo escenarios futuros?

Consultar ARClím/DGA/SHOA para la ubicación del proyecto:

Criterio de clasificación	Clasificación
Las proyecciones climáticas muestran cambios mínimos o no concluyentes en la variable crítica.	BAJO
Las proyecciones muestran cambios moderados que podrían afectar ocasionalmente el desempeño.	MEDIO
Las proyecciones muestran cambios severos que afectarían regularmente la operación o integridad.	ALTO

Variables críticas por tipología:

- **Puentes:** Caudal máximo / nivel de crecida
- **Control aluvional:** Precipitación extrema / intensidad de eventos
- **Protección costera:** Nivel del mar / marejadas

B) EXPOSICIÓN

¿Qué tan crítico es el servicio que provee la infraestructura?

Criterio de clasificación	Clasificación
La infraestructura sirve a una población pequeña, con alternativas cercanas disponibles y sin servicios críticos dependientes.	BAJA
La infraestructura sirve a una población moderada, con alternativas lejanas o parciales, o algunos servicios importantes dependientes.	MEDIA
La infraestructura sirve a una población numerosa, es ruta única o crítica, o tiene servicios esenciales dependientes (hospitales, agua, electricidad).	ALTA

C) VULNERABILIDAD

¿Qué tan susceptible es la infraestructura al daño?

Criterio de clasificación	Clasificación
Es infraestructura nueva o reciente, en buen estado, diseñada con normativa vigente y sin historial de problemas.	BAJA
Es una infraestructura con algunos años de antigüedad, estado regular, con diseño que cumplía normativa antigua y algún historial de eventos menores.	MEDIA
Es una infraestructura antigua, deteriorada, con diseño insuficiente o desconocido y con historial recurrente de daños o cierres.	ALTA

PASO 2: Matriz de significancia (Cualitativa)

Combinar los tres componentes usando criterio profesional:

Reglas de decisión simplificadas:

Situación	SIGNIFICANCIA
-----------	---------------

Amenaza BAJA, independiente de exposición/vulnerabilidad	NO SIGNIFICATIVO
Amenaza MEDIA con exposición y vulnerabilidad BAJAS o MEDIAS	NO SIGNIFICATIVO
Amenaza MEDIA con exposición o vulnerabilidad ALTA	MODERADO
Amenaza ALTA, independiente de exposición/vulnerabilidad	SIGNIFICATIVO
Amenaza MEDIA con exposición ALTA y vulnerabilidad ALTA	SIGNIFICATIVO

Criterio general: Ante duda, usar el nivel más conservador (mayor significancia).

PASO 3: Definir acción según nivel de significancia

☐ **NO SIGNIFICATIVO**

Definición: El riesgo climático no afecta materialmente la continuidad, capacidad o desempeño del servicio durante la vida útil del proyecto.

Acción requerida:

- Registrar en formulación que se evaluó la sensibilidad climática
- Documentar fuentes consultadas (ARClím, DGA, SHOA)

Continuar con proceso estándar SNI sin modificaciones

☐ **MODERADO**

Definición: El riesgo climático puede afectar el desempeño pero es gestionable con medidas operacionales o de bajo costo que no alteran sustancialmente la solución de inversión.

Acción requerida:

- Incorporar medidas de gestión en la formulación
- Documentar cómo estas medidas reducen el riesgo
- No requiere formular alternativas adicionales de inversión

☐ **SIGNIFICATIVO**

Definición: El riesgo climático afecta materialmente la continuidad, capacidad o desempeño del servicio. Se requieren medidas de adaptación que implican inversión adicional y deben evaluarse como alternativas.

Acción requerida:

- Formular alternativas (3 sugeridas) que incorporen diferentes enfoques de adaptación
- Describir cualitativamente ventajas y desventajas de cada alternativa
- Documentar supuestos climáticos de cada alternativa

Si el riesgo es extremo, considerar también la opción de no-acción o cambio fundamental de enfoque

Herramienta de apoyo: Ficha simplificada de clasificación de nivel de riesgo

FICHA DE SIGNIFICANCIA CLIMÁTICA - FORMULACIÓN SNI

1. IDENTIFICACIÓN

- Código SNI: _____
 - Tipología: ☐ Puente ☐ Control aluvional ☐ Protección costera
 - Ubicación: Región _____ Comuna _____
-

2. EVALUACIÓN CUALITATIVA DE COMPONENTES

AMENAZA CLIMÁTICA

- Variable crítica evaluada: _____
- Fuente consultada: ☐ ARCLim ☐ DGA ☐ SHOA ☐ Otra: _____
- Escenario considerado: ☐ SSP2-4.5 ☐ SSP5-8.5 ☐ Ambos

Descripción del cambio proyectado:

Clasificación: ☐ BAJO ☐ MEDIO ☐ ALTO

EXPOSICIÓN

- Población servida: ☐ Pequeña ☐ Moderada ☐ Numerosa
- Disponibilidad de alternativas: ☐ Cercanas ☐ Lejanas ☐ No existen
- Servicios críticos dependientes: ☐ No ☐ Algunos ☐ Sí, esenciales

Descripción de la criticidad del servicio:

Clasificación: ☐ BAJA ☐ MEDIA ☐ ALTA

VULNERABILIDAD

- Antigüedad: ☐ Nueva/reciente ☐ Años de operación ☐ Antigua
- Estado: ☐ Bueno ☐ Regular ☐ Deteriorado
- Historial de eventos: ☐ Sin problemas ☐ Algunos eventos ☐ Recurrentes

Descripción de la susceptibilidad:

Clasificación: ☐ BAJA ☐ MEDIA ☐ ALTA

3. RESULTADO DE SIGNIFICANCIA

Aplicando criterio profesional con matriz de significancia:

☐ **NO SIGNIFICATIVO**

→ Registrar evaluación y continuar con proceso estándar SNI

☐ **MODERADO**

→ Incorporar medidas de gestión:

1.

2.

3.

Responsable de implementación:

☐ **SIGNIFICATIVO**

→ Formular alternativas de adaptación:

Alt. 1 (Incremental):

Alt. 2 (Robusta):

Alt. 3 (Transformacional/Flexible):

¿Se considera también Alt. 0 (No-acción/Cambio fundamental)?

☐ No

☐ Sí, porque: _____

4. JUSTIFICACIÓN DE LA DECISIÓN

5. RECOMENDACIÓN

6. RESPONSABLE

- Nombre: _____
 - Cargo: _____
 - Firma: _____
 - Fecha: _____
-

Anexo 2-6 | Metodología para incorporar el cambio climático en puentes y control aluvional

Para la generación de este anexo, se han tomado como referencia los siguientes documentos:

- **“Estudio para la incorporación del cambio climático en el plan de reconstrucción”** (DGOP, 2023).
- **“Recomendaciones metodológicas para la incorporación del cambio climático en el diseño de obras hidráulicas en la zona norte de Chile”** (PNUD, 2025).

El uso de esta metodología se enfoca en la amenaza de precipitaciones intensas e inundaciones (crecidas), las cuales, ante un clima cambiante, podrían sufrir modificaciones en cuanto a su estimación, lo que debe considerarse para el diseño de las alternativas relacionadas con tipologías de obras de puentes y control aluvional.

Siguiendo el principio de proporcionalidad (MDSF, 2025a), se sugiere la incorporación de esta metodología especialmente en proyectos complejos o de gran magnitud (proyectos de nivel 2 y 3), y en fase de preinversión y/o diseño, como parte del estudio hidrológico, orientado a la estimación de precipitaciones extremas y crecidas en un contexto de clima cambiante, siendo insumo para estudios específicos.

La estimación de crecidas tradicional asume un supuesto de estacionariedad, es decir, un clima que se mantienen constantes en el tiempo. Sin embargo, esta hipótesis se vuelve vulnerable ante los cambios en las tendencias históricas de variables climáticas, como precipitaciones y temperaturas, producto del cambio climático.

La metodología propuesta en estos estudios (DGOP, 2023 y PNUD, 2025) propone sustituir el supuesto de estacionariedad histórica por un enfoque de no-estacionariedad, empleando estadística proyectada que capture los cambios en la función de densidad de probabilidad de los eventos extremos, utilizando modelos climáticos. Se consideran eventos extremos por precipitaciones intensas y el área pluvial aportante (definida a partir de la altitud de la línea de nieve), que originan aumentos significativos de caudal (DGOP, 2023). La Figura A2-6.1 resume, a través de un esquema general de decisiones la propuesta metodológica:

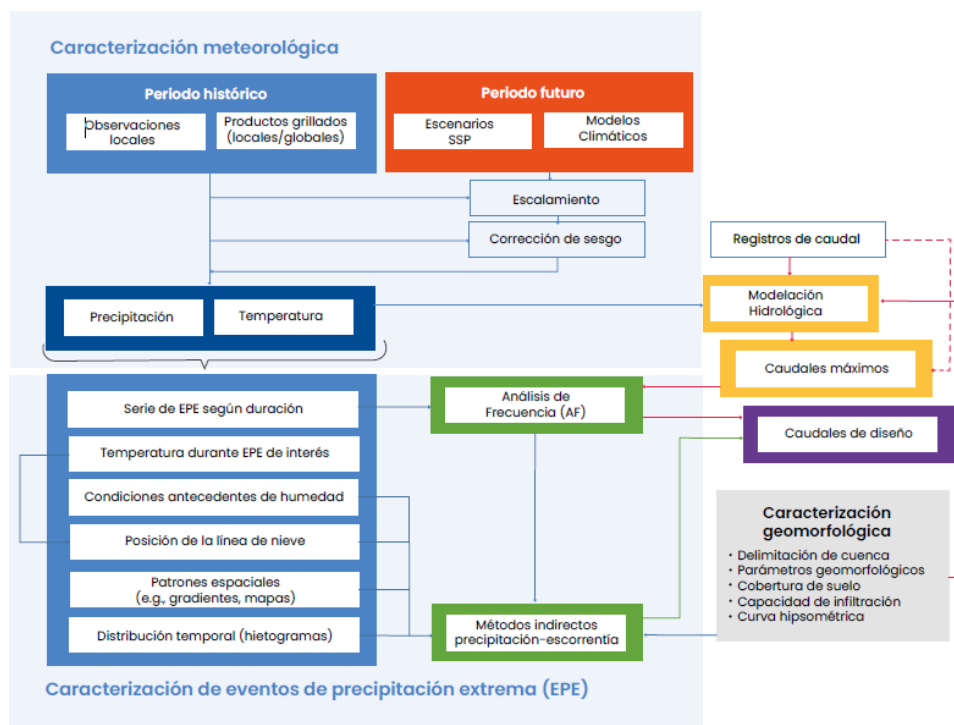


Figura A2-6.1. Esquema de decisiones para estudio hidrológico incorporando cambio climático.

Fuente: PNUD, 2025.

● Paso 1: Definición y caracterización de la cuenca de estudio

La metodología propuesta para incorporar el cambio climático en el diseño de obras hidráulicas comienza con la definición precisa de la cuenca de estudio. Este paso constituye la base del análisis, pues la correcta delimitación determina las pendientes, áreas aportantes y características geomorfológicas que controlan la generación de escorrentía. Para ello, se debe identificar el punto de emplazamiento de la obra, y utilizar información topográfica proveniente de modelos digitales de elevación (DEM), como SRTM o ALOS-PALSAR, cuya resolución permite identificar adecuadamente las cumbres y líneas divisorias del drenaje. Una vez obtenida la delimitación inicial, esta es contrastada con las cartas del Instituto Geográfico Militar (IGM), la base de cuencas DGA y la verificación mediante imágenes satelitales, asegurando que la geometría resultante refleje el comportamiento hidrológico real del territorio.

- Fuentes: IDE Chile, IGM, Mapoteca DGA.
- Entregables: shapefile y ficha de parámetros geomorfológicos (área, pendiente, long. cauce, elevaciones).

● Paso 2: Establecimiento de la Línea Base Histórica

A la vez, se procede a la recolección y validación de información hidroclimática para generar una línea base histórica y reciente. Este paso combina el uso de estaciones meteorológicas (DGA y DMC) con registros suficientemente completos (más del 90% en precipitación y 80% en

temperaturas extremas) con productos climáticos modernos como el producto grillado CR2Met (resolución de 5 km) para una representación espacial continua, y el reanálisis ERA5 para su desagregación temporal en distribuciones horarias. Se utilizan ventanas de, al menos, 30 años para asegurar que se captura la variabilidad climática. Estos productos permiten robustecer la caracterización espacial y temporal de las precipitaciones y temperaturas. Su desempeño debe ser verificado mediante métricas estadísticas como el coeficiente de correlación de Pearson, la raíz del error cuadrático medio normalizada (NRMSE) y el índice KGE, además de análisis discretos mediante tablas de contingencia que evalúan la capacidad del producto para detectar eventos de lluvia de distinta intensidad. El resultado es una base de datos confiables, validados y capaces de representar los patrones climáticos relevantes para la hidrología local.

- Fuentes: Información de red hidrométrica DGA, DMC, producto CR2Met²⁹ (datos grillados de precipitación y temperatura), ERA5³⁰ (reanálisis horario).
- Entregables: informe de validación con métricas y mapas de cobertura/representatividad.

- **Paso 3: Selección de Escenarios y Modelos (GCM)**

Posteriormente, la integración de la variable cambio climático considerando el periodo futuro en estudios hidrológicos considera los siguientes pasos:

- Selección de escenarios climáticos: Se recomienda priorizar el uso de los escenarios más recientes, correspondientes a los Shared Socioeconomic Pathways o Vías Socioeconómicas Compartidas (SSP, por sus siglas en inglés), introducidos en el proyecto CMIP6 (Sexto Informe del IPCC) (ver Figura A2-6.2). Se propone el uso de dos escenarios: SSP2-4.5 (escenario moderado, emisiones medias) y SSP5-8.5 (escenario severo, emisiones muy altas), calificados como extremos realistas. La selección de, al menos, dos escenarios responde a la posibilidad de analizar una representación plausible del clima futuro, considerando rangos de dispersión de resultados y la resiliencia de las soluciones que se propongan.

²⁹ <https://www.cr2.cl/datos-productos-grillados/>

³⁰ <https://cds.climate.copernicus.eu/datasets>

Trayectorias socioeconómicas compartidas

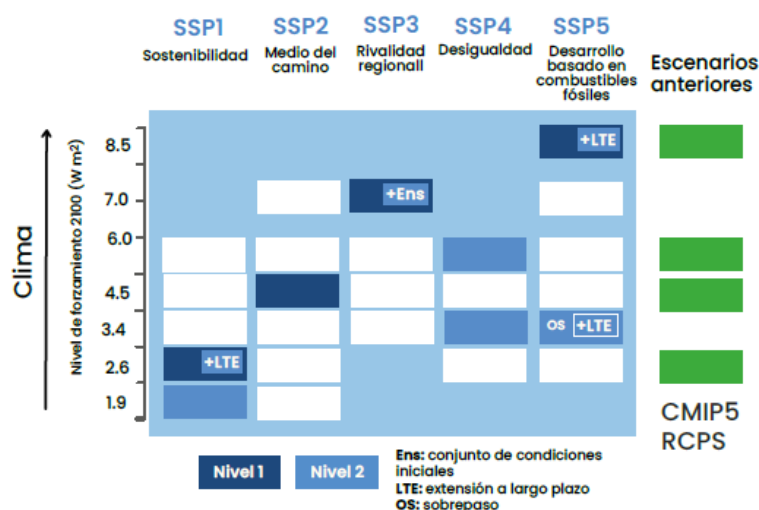


Figura A2-6.2. Esquema de escenarios de trayectorias socioeconómicas compartidas (SSPs) del CMIP6 y comparación con escenarios del CMIP5 (RCPS). Fuente: O'Neill et al. (2016) en (PNUD, 2025)

- Selección de Modelos de Circulación General (GCM): los GCM corresponden a modelos numéricos que representan la física atmosférica y oceánica global para proyectar el clima futuro a partir de variables hidrometeorológicas. La selección de los GCM dependerá del objetivo del estudio y de su capacidad de representar los patrones climáticos del área de estudio, evaluando su desempeño histórico en la zona de estudio, evaluando que los modelos capturen tanto los promedios mensuales como los eventos extremos húmedos. Algunos métodos indicados para la selección de GCM:
 - Índice de rendimiento histórico (PPI): Evalúa la capacidad del modelo para replicar medias climatológicas, variabilidad interanual y ciclos estacionales. Se considera un desempeño aceptable valores de $PPI \geq 0,5$
 - Distancia Euclidiana (ED): que permite valorar el desempeño conjunto de las variables de temperatura y precipitación. $ED < 0,5$ se considera un rendimiento satisfactorio; $0,5 < ED < 1,0$ un rendimiento moderado, y $ED \geq 1,0$ rendimiento deficiente.
 - Índice de Impacto Climático Integrado (CI^3): métrica para evaluación de eventos extremos húmedos, que compila varios índices climáticos, por ejemplo, de precipitación y temperatura. $CI^3 \geq 0,4$ se considera un rendimiento aceptable (valores de CI^3 entre $-\infty$ y $1,0$).

Alternativamente, se pueden seleccionar modelos pre-procesados que hayan sido utilizados en estudios previos que se ajustan a la climatología nacional o local. Por ejemplo, se sugiere la revisión del estudio Homologación del Cálculo Hidrológico para la Estimación de la Oferta Natural de Agua Histórica y Futura en Chile (DGA, 2022) (o su actualización), la selección del GCMs por macrozona hidroclimática realizada por Gateño et al. (2024), o los modelos utilizados en el proyecto ARCLim³¹ (MMA, 2020).

- Selección de ventanas climáticas: Define los periodos temporales de análisis para comparar la línea base (periodo histórico) con el futuro (para todos los escenarios). En general, se recomienda el uso de ventanas de análisis de al menos 30 años para reducir la influencia de la variabilidad natural del clima. Se sugiere el uso de ventanas móviles o fijas según la vida útil de la obra, que equilibren las proyecciones a mediano y largo plazo. Por ejemplo, para el caso de puentes (vida útil 50 años), se utilizan dos ventanas: futuro cercano (p. ej. 2030-2060) y futuro lejano (p. ej. 2040-2070). Este tipo de elecciones busca analizar también tendencias más amplias que podrían incidir en la resiliencia de la infraestructura.

□ Fuentes: CMIP6³²

□ Entregables: lista de GCM seleccionados, justificación de GCM y ventanas, y matriz escenario-ventana.

● Paso 4: Corrección de sesgo y Escalamiento

El paso de Corrección de sesgo y Escalamiento es un componente esencial en la integración del cambio climático en estudios hidrológicos, ya que permite adaptar las proyecciones de los modelos globales a la realidad física y estadística de una cuenca específica. Estos consisten en:

- Escalamiento espacial (downscaling): Los GCM reproducen el clima a una escala global (cientos de kilómetros), por lo que una vez seleccionados, las proyecciones deben ser sometidas a un proceso de escalamiento, mediante el cual se cambia la resolución espacial de los datos desde una escala gruesa a una escala más fina (desagregación), para obtener datos a una escala adecuada para el estudio hidrológico (ej: cuenca, grillas de 5-10 km). El escalamiento puede ser del tipo dinámico o estadístico. Por coste computacional, generalmente se utiliza este último, mediante el uso de, por ejemplo, funciones lineales o métodos geoestadísticos.
- Corrección de sesgo (escalamiento estadístico): El ajuste espacial mantiene sesgos intrínsecos a las diferencias de escalas, por lo que se deben aplicar métodos de corrección de sesgo a los productos escalados. Basado en la experiencia nacional, se recomienda utilizar la Corrección de Sesgo Multivariado

³¹ <https://arclim.mma.gob.cl/>

³² <https://cds.climate.copernicus.eu/datasets/projections-cmip6?tab=overview>

(MBCn) para preservar la coherencia física y la codependencia estocástica entre temperatura y precipitación, evitando distorsiones en la señal de cambio. Este método se encuentra implementando en la plataforma R, por lo que es de fácil acceso.

- Verificación de corrección de sesgo: Las simulaciones corregidas se contrastan con datos de observaciones del periodo histórico asociadas a subperiodos de tiempo no considerados para la corrección de sesgo; o se comparan con el producto de referencia utilizado, para verificar a través de distintas métricas y escalas de tiempo (mensual, anual y estacional). Se debe verificar, al menos, la representación de patrones estacionales promedio en el periodo histórico de los GCM comparado con el producto de referencia. Algunas métricas de evaluación de desempeño son: Raíz del Error Cuadrático Medio (RMSE), Coeficiente de Determinación (R^2), Eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE). Este paso asegura que las proyecciones corregidas sean consistentes y utilizables para análisis hidrológicos posteriores.

□ Entregables: series corregidas y reporte de verificación.

- **Paso 5: Determinación de la línea de nieve (LN) y área pluvial aportante**

La determinación de la línea de nieve es crítica para definir el Área Pluvial Aportante, factor que modula directamente el volumen de la crecida en eventos de tormentas. Para ello se emplean tres enfoques: los métodos clásicos de Peña & Vidal y Escobar, basados principalmente en relaciones latitudinales; el método de Covian & Stowhas, que incorpora una aproximación probabilística mediante excedencias del 25%; y finalmente el procesamiento de imágenes satelitales MODIS-AQUA del Observatorio Andino, disponible desde el año 2000, que permite cuantificar la variabilidad intraanual e interanual de la línea de nieve real. Se contrasta la información de los tres métodos y se realiza un análisis de sensibilidad para la selección de las cotas representativas a los valores históricos reportados. Se recomienda calcular el "volumen pluvial aportante" considerando la línea de nieve.

□ Fuentes: Observatorio Andino.

□ Entregable: LN mensual/trimestral (p50/p25/p10) y reglas de selección para eventos de diseño.

- **Paso 6: Análisis hidrológico y estimación de crecidas (Modelación P-Q)**

En este paso (Figura A2-6.3), se debe sustituir la estadística histórica por una estadística proyectada (no estacionaria) mediante la aplicación de un Análisis de Frecuencia (AF) sobre las series de máximos anuales futuras, de modo que capture los cambios en la función de densidad de probabilidad de los eventos extremos para las ventanas seleccionadas. Para la obtención de caudales máximos instantáneos (QMI), se recomienda el uso de modelación hidrológica dinámica (conceptual o física) mediante modelos como VIC, IHACRES, SIMHYD, GR4J o CLASSIC (Figura A2-6.4). Como alternativa en cuencas sin información fluviométrica,

se pueden emplear métodos indirectos como los Hidrogramas Unitarios Sintéticos (HUS, tipos Linsley o SCS). Para forzar adecuadamente estos esquemas, es imperativo aplicar Coeficientes de Duración (CD) derivados de series de alta resolución (ej. ERA5) que permitan transformar la precipitación máxima diaria proyectada en bloques de duración efectivos (ej. 1, 6 o 24 horas), procedimiento que constituye la base para la actualización de las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) bajo escenarios de cambio climático.

Estas simulaciones deben realizarse para cada combinación de GCM, escenario (SSP), ventana temporal y distribución temporal de la precipitación (empleando clústeres locales derivados de ERA5 mediante el método de Huff). Es muy importante integrar factores condicionantes variables como la isoterma 0°C para definir el área pluvial aportante, y la precipitación efectiva según la condición de humedad antecedente (Curva Número I, II o III). Para gestionar la cascada de incertidumbre, el análisis debe basarse en ensambles multimodelo, reportando percentiles (P25, P50, P75) sobre los cuales se calcula el factor de cambio (razón futuro/histórico modelado) que ajustará los caudales de diseño observados.

A partir de estos valores, se incorporan las modificaciones necesarias en el diseño de la obra hidráulica, incluyendo dimensiones estructurales, defensas fluviales, protección contra socavación, determinación de cotas y redimensionamiento del cauce efectivo, de modo de asegurar la resiliencia estructural y funcional de la infraestructura frente a escenarios climáticos cambiantes.

- Entregables: hietogramas (P50/P90); hidrogramas de crecida por periodo de retorno y escenario; matriz de decisiones con escenario de diseño (medio) y verificación (desfavorable), informar juicio técnico sobre márgenes de seguridad.

Consideraciones técnicas y buenas prácticas

- Enfoque en inundaciones vs. aluviones: Mientras que en puentes el foco es la escorrentía líquida (QMI) y la socavación, en proyectos de control aluvional se debe considerar además el transporte de sedimentos y el volumen de detritos proyectado.
- Gestión de la Incertidumbre: Dado que los modelos no son pronósticos y presentan una “incertidumbre profunda”, se debe trabajar con envolventes de diseño y no con un valor único. Se sugiere diseñar con la mediana (P50) del ensamble de proyecciones y realizar la verificación de seguridad con el percentil 75 (P75) o el escenario más severo analizado (SSP4-8.5).

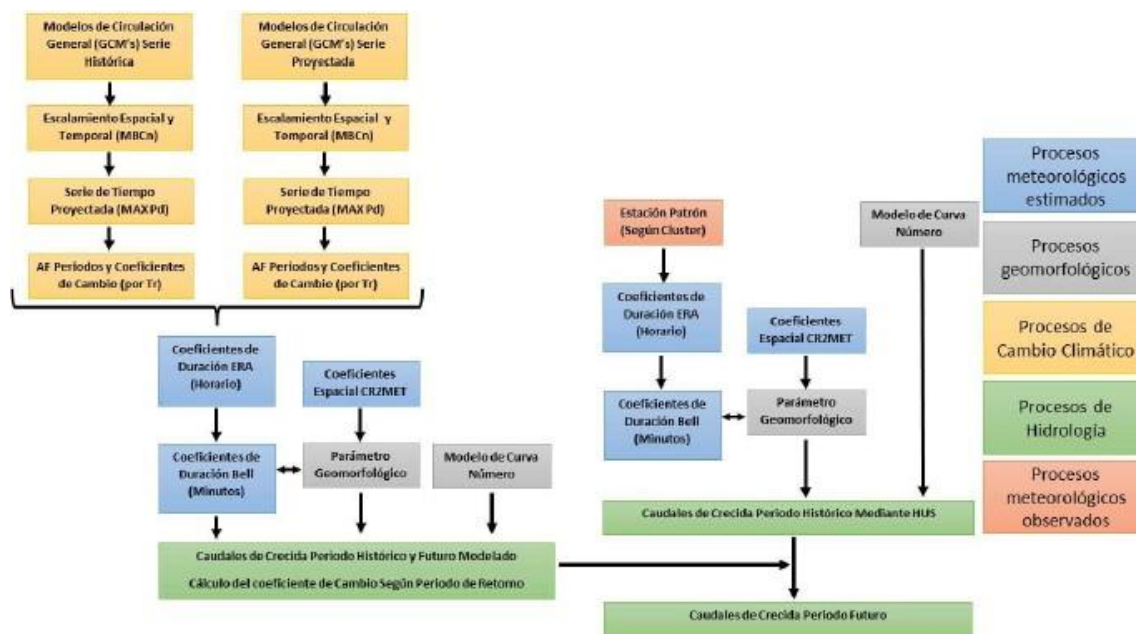


Figura A2-6.3. Esquema de metodología para estimar caudales de diseño en cuencas sin control fluvimétrico en escenarios de cambio climático, etapa Modelación P-Q. Aplicación a puentes. Fuente: DGOP, 2023.

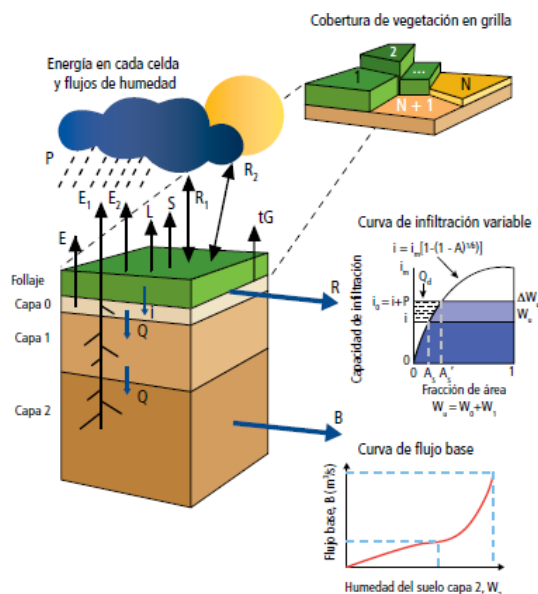


Figura A2-6.4. Modelo hidrológico de gran escala. Fuente: Adaptado de Liang et al. (1994) en Centro de Cambio Global UC et al. (2013)

Anexo 3-1 | Levantamiento de información

Documentos para revisión bibliografica

Tabla A3-1.1. Documentos compartidos por MOP

#	Titulo	Autor	Fecha
1	Manual de carreteras, volumen 1, planificación evaluación y desarrollo vial, capítulo 1.400 riesgo, resiliencia y cambio climático.	MOP	2025
2	Manual de carreteras, volumen 1, planificación evaluación y desarrollo vial, capítulo 1.500 dimensión ambiental.	MOP	2025
3	Manual de carreteras, volumen 1, planificación evaluación y desarrollo vial, capítulo 1.800 estudios de base.	MOP	2025
4	Guía para la evaluación económica de medidas de adaptación y mitigación al cambio climático: Pautas para la cuantificación y estimación de costos y beneficios de las medidas de adaptación y mitigación. ³³	Sin autor. Caso Peru	2024
5	Integración del capital natural en políticas públicas: Lecciones desde la cuenca del río Bueno, 2025.	BID	2025
6	Metodología General para la Formulación y Evaluación de Proyectos de Inversión Pública, 2025. ³⁴	MDSF	2025
7	Metodología Complementaria para la Evaluación de Riesgo de Desastres de Proyectos de Infraestructura Pública, 2017. ³⁵	MDSF	2017

Tabla A3-1.2. Documentos compartidos por MDSF

#	Titulo	Autor	Fecha
	Aluvional		
8	Metodología De Preparacion Y Evaluacion De Proyectos De Defensas Fluviales	MDSF	2013

³³ No se considera como documento pertinente a este proyecto considerando que los casos de estudio que serán revisados corresponden a países fuera de la región (LATAM), que serán definidos por el MDSF.

³⁴ Documento repetido en la bibliografía proporcionada por el MDSF.

³⁵ Existe un documento con el mismo título compartido por el MDSF en una versión más reciente, año 2024. Se considerará su versión más actualizada para propósito de este estudio.

9	Metodología Formulación Y Evaluación De Proyectos De Riego	MDSF	s.f
10	RIS: Sector Recursos Hídricos; Subsector Defensas Fluviales, Marítimas Y Cauces Artificiales; Proyectos De Obras De Defensas Fluviales	MDSF	2024
11	RIS: Sector Recursos Hídricos Subsector Aguas Lluvias; Estudio Básico; Plan Maestro De Evacuación Y Drenaje De Aguas Lluvias	MDSF	2024
12	RIS: Sector Recursos Hídricos; Subsector Riego; Proyectos De Obras De Riego O Drenaje		2024
Portuario			
13	RIS: Sector TRANSPORTE; Subsector Transporte Portuario; Empresas Portuarias Estatales	MDSF	2024
14	RIS: EMPRESAS PÚBLICAS	MDSF	2024
Riesgo de desastres			
15	Instructivo para la evaluación del riesgo de desastres en proyectos de infraestructura pública	MDSF	2022
Vialidad			
16	RIS: Sector Transporte; Subsector Vialidad Interurbana	MDSF	2022
17	Instructivo Metodológico Estimación De Beneficios Sociales Por Reducción De Incendios Forestales, Modo Aéreo	MDSF	2024
18	Metodología De Formulación Y Evaluación De Proyectos De Transporte Interurbano	MDSF	2017
19	Instructivo Metodológico Para Abordar; Implementación De Puntos De Posada Para Emergencias Y Desastres	MDSF	2016
Transversales			
20	Metodología Complementaria Para La Evaluación De Riesgo De Desastres En Proyectos De Infraestructura Pública	MDSF	2024
21	Manual De Escalas Para La Estimación Del Índice De Riesgo De Desastres De Amenaza Por Incendios Forestales	MDSF	2022

22	Manual De Escalas Para La Estimación Del Índice De Riesgo De Desastres De Amenaza Por Remoción En Masa Por Flujos	MDSF	2022
23	Metodología General Para La Formulación Y Evaluación De Proyectos De Inversión Pública	MDSF	2025

Tabla A3-1.3. Documentos complementarios (identificados por GeoAdaptive)

#	Título	Autor	Fecha
24	Plan de Adaptación y Mitigación al Cambio Climático Sector Infraestructura	MOP	2017
25	La Incorporación del Cambio Climático en la Inversión Pública Chilena	GIZ	2023

Tabla A3-1.4. Documentos adicionales entrevistas

#	Título	Autor	Fecha
26	Ord N° 2 – Formaliza Instructivo de proporcionalidad en la postulación de proyectos al SNI	MH; MDSF	2025
27	Instructivo de proporcionalidad en la postulación de proyectos al Sistema Nacional de Inversiones (SNI)	MH; MDSF	2025
28	Ord. N°5 Actualiza instructivo proyectos conservación 2025	MH; MDSF	2023
29	Plan de Adaptación y Mitigación al Cambio Climático Sector Infraestructura	MOP	2025
30	Política de Sostenibilidad Ministerio de Obras Públicas 2024/2030	MOP	2024
31	Anexo Cambio Climático DOP - Eje Adaptación	DOP	2022

Ficha tipo para análisis de documentos

La siguiente ficha tipo se utilizó como estructura para sistematizar el análisis de los documentos seleccionados por el MOP y MDSF para el levantamiento de información incluido en este estudio. Las fichas de los 31 documentos se consolidan en el documento Fichas bibliográficas: Levantamiento de información. (GeoAdaptive, 2025).

Tabla A3-1.5. Estructura de ficha de análisis de documentos

1	DATOS DOCUMENTO
	Título; Autor; Fecha; País; Tema principal
2	TEMAS CLAVE
	Marco metodológico; Definiciones operativas; Síntesis de contenidos; Referencias a normativa MOP y articulación con otros manuales y leyes sectoriales.
3	ACTORES Y TERMINOS
	Actores; Términos clave
4	RESUMEN GENERAL DEL DOCUMENTO
	De qué se trata Relevancia para el proyecto Críticidad en su revisión Otros:
5	DATOS Y CONSIDERACIONES ADICIONALES
	Variables/indicadores; Referencias cruzadas; Limitaciones; Fuentes adicionales
6	ADAPTACIÓN (INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA, VIAL Y PORTUARIA)
	Hidráulica Vial Portuaria Integración en financiamiento de proyectos
7	MITIGACIÓN (ENERGÍA PASIVA, RENOVABLES, EFICIENCIA, PSC)
	Energías renovables Eficiencia energética PSC e integración en planificación
8	NO ABORDADO EN ESTE DOCUMENTO
9	RECOMENDACIONES OPERATIVAS PARA EL EQUIPO

Resúmenes analíticos

Resumen de adaptación climática

Tabla A3-1.6. Resumen Analítico Documental en torno a la Adaptación al Cambio Climático.

Aspecto	Integración Actual	Instrumentos/Referencias	Brechas Identificadas	Oportunidades de Mejora
Marco Metodológico	Metodología Complementaria de RRD obligatoria para 4 amenazas (tsunami, volcanes, remociones, incendios) con IRD y umbrales	Metodología RRD (2024), Manual de Escalas, Instructivo RRD (2022)	No cubre inundaciones fluviales/pluviales, marejadas, subsidencia de forma estandarizada	Ampliar metodología a amenazas hidrometeorológicas con escenarios climáticos
Sectores Viales	Manual de Carreteras Cap. 1.400 integra riesgo y resiliencia; estudios de base incluyen variables climáticas	Manual de Carreteras Vol. 1, RIS Vialidad Interurbana, Cap. 1.400 Dimensión Ambiental	Falta parametrización HDM-4 con deterioro climático; sin protocolo de interrupciones	Incorporar costos de cierre/desvíos, perfiles de deterioro ajustados al clima
Sectores Hidráulicos	RIS específicos para defensas fluviales y aguas lluvias; exigencia de CC en balances hídricos	RIS Defensas Fluviales, RIS Aguas Lluvias, Metodología Riego	Horizonte 30 años puede subestimar beneficios; falta SbN estandarizadas	Extender horizontes, valorar SbN como alternativas, análisis de robustez
Sectores Portuarios	Anexo DOP obliga usar SSP5-8.5 para aumento nivel del mar en diseños	Anexo CC DOP, RIS Empresas Portuarias	No cubre oleaje extremo ni efectos compuestos sistemáticamente	Integrar marejadas, análisis de extremos compuestos,

				continuidad logística
Evaluación Social	Metodología General permite valorar beneficios por daño evitado y continuidad de servicio	Metodología General SNI (2025), Precio Social Carbono	Sin parámetros específicos de valoración de resiliencia	Desarrollar valores de referencia para continuidad, pérdidas evitadas
Proporcionalidad	Instructivo 2025 permite análisis diferenciado por complejidad (Niveles 0-3)	Instructivo Proporcionalidad (2025)	Nivel 1 puede ser insuficiente para riesgos complejos	Definir umbrales climáticos para cada nivel de análisis

Resumen de mitigación climática

Tabla A3-1.7. Resumen Analítico Documental en torno a la Mitigación al Cambio Climático.

Aspecto	Integración Actual	Instrumentos/R referencias	Brechas Identificadas	Oportunidades de Mejora
PSC	Metodología General instruye usar PSC del "Informe de Precios Sociales"; aplicación en transporte interurbano	Metodología General SNI, Metodología Transporte Interurbano, GIZ (2023)	No obligatorio en todos los sectores; valores pueden estar desactualizados	Mandatar PSC en evaluación social; actualizar valores anualmente
Eficiencia Energética	Software ECSE para edificios públicos; criterios en metodología de ACS	RIS Empresas Públicas, Documento GIZ, Plan MOP CC	Cobertura sectorial limitada; sin estándares para infraestructura vial/portuaria	Expandir ECSE a tipologías de infraestructura; definir metas de eficiencia

Inventarios de GEI	Metodología General permite incluir emisiones como externalidades	Plan MOP CC (2025-2029), Política Sostenibilidad MOP	No obligatorio sistematizar inventarios por proyecto	Requerir inventarios en construcción y operación; factores de emisión actualizados
Economía Circular	Plan MOP incluye gestión RCD y banco de materiales	Plan MOP CC, Política Sostenibilidad MOP	Sin cuantificación sistemática de beneficios de carbono	Valorar emisiones evitadas por reciclaje con PSC
Energías Renovables	Posibilidad en evaluación social; autogeneración en RIS	RIS Empresas Públicas, Instructivo Proporcionalidad	Sin lineamientos específicos para integración on-site	Desarrollar criterios técnicos para FV, eólica pequeña en infraestructura
Transporte	Metodología incluye emisiones CO2 como externalidad	Metodología Transporte Interurbano	Factores de emisión pueden requerir actualización	Actualizar factores, incluir ciclo completo (construcción + operación)

Resumen de instrumentos transversales

Tabla A3-1.8. Resumen Analítico Documental de Instrumentos Transversales de Integración.

Instrumento	Función en CC	Cobertura Actual	Fortalezas	Limitaciones
Sistema Nacional de Inversiones (SNI)	Marco obligatorio para evaluación social con externalidades climáticas	Todos los proyectos públicos	Metodología robusta, trazabilidad, indicadores económicos	Sin parámetros climáticos específicos actualizados
Requisitos de Información Sectorial (RIS)	Especifica contenidos técnicos por	Hidráulica, vial, portuaria, empresas públicas	Diferenciación sectorial, obligatoriedad	Desarrollo desigual entre sectores

	sector incluyendo CC			
Metodología de Riesgo de Desastres	Evaluación complementaria obligatoria con IRD	4 amenazas específicas, edificaciones principalmente	Umbrales claros, costo-eficiencia	Cobertura limitada de amenazas climáticas
Instructivo de Proporcionalidad	Gradúa exigencias según complejidad del proyecto	Niveles 0-3 para todos los proyectos	Eficiencia administrativa, flexibilidad	Riesgo de subvalorar CC en niveles bajos
Plan MOP de Adaptación y Mitigación	Define acciones sectoriales 2025-2029	Infraestructura MOP (vial, hidráulica, portuaria)	Metas específicas, presupuesto definido	Necesita traducción a parámetros SNI

Anexo 3-2 | Resumen de entrevistas grupales

Pauta de preguntas

Las preguntas buscan diagnosticar brechas y oportunidades de mejora del SNI en lo que respecta al financiamiento de las obras de infraestructura pública resiliente que ejecuta el Ministerio de Obras Públicas en fase de preinversión, detallando todas las normas, metodologías y procedimientos bajos los cuales se obtienen la rentabilidad social de los proyectos.

El guión está ajustado para focalizar explícitamente la conversación en la etapa de preinversión (perfil, prefactibilidad y factibilidad), considerando sesiones de 120 minutos y 6 participantes como mínimo.

Estructura de cada sesión

- Módulo I: Diagnóstico actual y brechas
 - Módulo II: Evaluación social y nombras y procedimientos del SNI
 - Módulo III: Conclusiones
-

Síntesis entrevista grupal DOH

MÓDULO I

Criterios y umbrales de priorización

- Hay una mirada multidimensional de los proyectos para su priorización. Se evalúan con la metodología SNI - ACB o ACE - según corresponda.
- El agua es vista como un bien y como un propagador de externalidades negativas.
- En el caso de las obras aluvionales, se hace un esfuerzo por centrarse no solo en uno de los criterios de evaluación, sino tener un enfoque multidisciplinar. Pero las metodologías institucionalizadas no integran esta aproximación.
- En la región de Atacama hay un proyecto donde se incluyeron todos los beneficios y costos de la cuenca.
- En general se trabaja con proyectos de conservación, pero cuando ocurren emergencias se procede con la formulación de proyectos.
- La cartera de proyectos de protección aluvional corresponde en su mayoría a proyectos de conservación.
- Aproximadamente un 60% del presupuesto es destinado a obras de conservación. Anteriormente el MDS no se pronunciaba sobre este tipo de obras, ya que no entregaban una protección adicional. Hace unos 2 o 3 años, se revirtió esta decisión y se volvió a entregar una opinión al respecto.
- Durante una emergencia, no se realiza evaluación económica convencional; en su lugar, la evaluación se centra en los daños que se logran prevenir.

- Se está realizando un plan de quebradas que contribuirá a un portafolio de proyectos priorizados.
- Anualmente se hace una priorización de proyectos, donde las direcciones regionales entregan información.

Información de peligro y riesgo utilizada/vacío de datos

- Se está trabajando en convenios con Sernageomin para incorporar a los geólogos en los análisis.
- Se está desarrollando el manual de quebradas.
- A niveles ministeriales se está trabajando respecto a las mismas bases de datos.
- No hay un gran vacío, pero siempre van apareciendo temas nuevos.
- Falta una mayor capacitación en el tema de cambio climático al interior del MOP

Lineamientos de diseño por cambio climático

- Se están recién interiorizando en otras variables sobre cambio climático
- Las universidades están proponiendo escenarios de cambio climático
- Se ha analizado cuál ha sido el comportamiento de la línea de nieve en los últimos años. Se supone una línea variable. Con esto se incorpora en el diseño de la obra hidráulica la variable de cambio climático.

Limitaciones en la formulación y evaluación de SbN

- En obras aluvionales es compleja la utilización de SbN. La comunidad duda de la efectividad de estas soluciones.
- La malla dinámica si puede ser ocupada como completo a SbN.
- Se ocupa en defensas fluviales pero no es protección aluvional

Brechas para utilizar otras soluciones

- Las soluciones son entregadas por empresas extranjeras, y se requiere contratar a través de una empresa chilena que actúa como intermediario, lo que aumenta mucho los costos.
- Se está trabajando en poder inscribir a este tipo de empresas en el registro de contratistas y consultores
- El MDS no tiene una metodología para evaluar obras de SbN
- El ministerio de Medio Ambiente pone presión para avanzar en esta materia, pero no está incorporado en la metodología y ha costado que el MDS entienda este tipo de soluciones.
- Se propone que el MDS haga un plan piloto cuando tenga la metodología a nivel central, para que haya un cierto aprendizaje, para luego llevar a regiones, ya que los criterios de los evaluadores son diversos.

Integración de aprendizajes de eventos en el ciclo de inversión

- El ciclo de inversión está bien planteado pero cada evento va incorporando cosas nuevas (ejemplo el cambio climático)

MÓDULO II

Información utilizada en la modelación/utilización de datos climáticos

- Se diseña para un periodo de retorno de 100 años, se verifica para 200 años. Cuando son obras concesionadas se diseña para 200 años y se verifica para 300.
- Todas las modelaciones son en 2D.
- Se trabaja con estudios de factibilidad y diseño.
- Se llegó a un acuerdo con el MDS en que los estudios de planes maestros equivalen a un estudio de prefactibilidad. Por eso hasta ahora se puede partir con una factibilidad y diseño.

Métodos para estimar y valorizar daños directos/indirectos/beneficios por pérdidas evitadas

- Es una ecuación compleja, ya que las obras fluviales tienen un costo muy alto y la metodología no permite la valoración completa de los beneficios (incluyendo daños evitados)

Distribución de beneficios en zonas vulnerables

- La vulnerabilidad de las personas no tiene peso en el MDS.
- Cuando se hace una obra en un sector, no solo se ayuda a la gente de ese sector.
- Dificultad para definir los beneficios para población de alta vulnerabilidad en este tipo de proyectos.

Limitaciones al desarrollo de proyectos multipropósitos

- Las SbN se complementan con otro tipo de proyectos como un parque.
- Hay limitaciones de financiamiento y de procedimientos.
- Se debe buscar a otra institución para que financie los proyectos

Métodos de cálculo de la rentabilidad social

- La metodología calcula el costo-beneficio. En el diseño de las obras hidráulicas se llega a un costo, el que es conocido, pero el tema es el beneficio. La metodología actual no capta todos los beneficios: define beneficios directos (daño evitado), beneficios indirectos y beneficios intangibles, donde no es clara la metodología y el MDS tiene cierta tensión a la hora de aceptarlos.
- Si no hay capacidad de valorar los beneficios intangibles, es altamente probable que la obra no sea rentable.

Conocimiento y proceso de aplicación del PSC

- No hay conocimiento

MÓDULO III

Propuestas de cambio del SNI

- Ahondar en los beneficios.
- Si no se ahonda en los beneficios, con proyectos con altos costos, no se logrará una rentabilidad mínima, a pesar de que las rentabilidades mínimas exigidas han bajado
- Ponerle valor a la vulnerabilidad
- Si los proyectos no son rentables, se deberá actuar mediante instrumentos excepcionales
- Se requiere mayor consistencia en el SNI. Existe una brecha entre los requisitos técnicos solicitados en las fichas de conservación y el nivel de capacitación del personal encargado de implementarlos.
- Incorporar variables de cambio climático le pegan más al costo que los beneficios.
- La Ley marco de cambio climático indica al MDS que debe financiar la resiliencia del país.
- No necesariamente la obra es más cara, sino que debería tener un diseño distinto

Síntesis entrevista grupal DOP

MÓDULO I

Criterios y umbrales de priorización

- Hay un anexo de adaptación al cambio climático que tiene relación con el aumento del nivel medio del mar. Se creó con el objetivo de dar cumplimiento a la medida 3 del Plan.
- En materia de cambio climático se prioriza de manera reactiva
- Hay un impacto importante de las marejadas y la erosión costera, pérdida de playa, y se ha empezado a trabajar en algunos ámbitos.
- La incorporación del cambio climático se produce a partir de una política ministerial que se comprometía a trabajar en esta temática. Se conformó un comité de cambio climático.
- Se desarrolló un anexo de cambio climático, que dentro de los criterios críticos está el aumento del nivel del mar. Esta es la variable que hay más certeza de que cambiará.
- En el caso de obras de mitigación, aún no está incorporado.
- La variable que más se utiliza es el mar. En el caso de ríos es una variable más desconocida y se trabaja en conjunto con la DGA, y hay otras herramientas de la Universidad de Chile.
- Se considera una vida útil de 50 años. El periodo de retorno es variable. Dependiendo de la importancia de la obra se determina el periodo de retorno.

- La evaluación de proyectos se hace a 25 años, todo lo que viene después de ese periodo son valores residuales.
- Respecto a la priorización, los proyectos de protección costera se ejecutan de forma reactiva, mientras que los de borde costero tienen un enfoque más preventivo y se ha trabajado en una lógica de plan de borde costero.
- Las obras siempre tienen que estar pensando que deben ser resilientes, donde se tiene bien identificado la altura máxima de las olas, pero no hay tanta información respecto a la recurrencia de las marejadas.
- Hay dos productos estratégicos: programa de mejoramiento de borde costero, donde el MDS exige mínimo costo, y protección de rivera, donde se exige una cierta rentabilidad social, por lo que es un poco más complejo.
- En caso de emergencias, los proyectos se ejecutan por conservación y ahí hay que ejecutar por mínimo costo.
- El MDS evalúa por costo-beneficio, y con el cambio climático muchas veces las intervenciones no tienen rentabilidad, por lo que no son priorizadas. Eso es complejo sobre todo en lugares donde está desapareciendo infraestructura y viven pocas personas.
- Se ha intentado impulsar una glosa que implique una evaluación simplificada y no requiere pasar por el MDS.
- Más o menos un 15% del presupuesto anual siempre va a emergencia, pero las herramientas disponibles no permiten abordarla

Información de peligro y riesgo utilizada/vacío de datos

- No hay mucho apoyo a nivel nacional para la ejecución de proyectos
- El principal vacío tiene que ver con la recopilación de datos de campo.
- Operativizar relación con otras instituciones.

Lineamientos de diseño por cambio climático

- Se cuenta con un anexo que se usa para determinar el nivel del mar
- Como barreras, hay un tema cultural, ya que cuando se diseñan soluciones se pide que no disminuyan la visión del mar.
- Para el presupuesto, se podría considerar un factor especial de cambio climático.

Limitaciones en la formulación y evaluación de SbN

- La ingeniería ecológica en Chile está en pañales.
- Hay varias barreras: en primer lugar la barrera educativa. También hay una barrera geográfica ya que la costa chilena es mucho más compleja que otras. Hay una barrera normativa ambiental, ya que sacar arena de otro lado implica realizar un estudio de impacto ambiental. Otro tema es la estructura de cómo se obtienen los recursos, ya que este tipo de soluciones requieren tiempo y tampoco hay certeza de que funcionará.
- El sistema del MDS no está preparado para este tipo de iniciativas que tomarán 6 o 7 años en ejecutarse.

- En el caso de los proyectos híbridos agrega una complejidad ya que requiere una coordinación interinstitucional.
- Se requiere un cambio de paradigma, que requiere capacitación, de forma de poder incorporar otro tipo de soluciones.
- Se debe sensibilizar a otros organismos como es el MDS o la Contraloría, porque van a fiscalizar obras que muchas veces no darán resultados.
- Las SbN podrían ser consideradas como programas y no como proyectos
- Es complejo evaluar SbN, ya que no hay tanta evidencia de cómo funcionarán.

Brechas para utilizar otras soluciones

- Proyectos con complejidad en la operación.

Integración de aprendizajes de eventos en el ciclo de inversión

- La emergencia detona que los proyectos entren en la cartera de inversión y se ha contado con el apoyo del MDS.
- Se debe poner celeridad y acortar los plazos para poder responder a la emergencia
- Se debe revisar el tema presupuestario y quizás contar con un plan b como MOP para poder avanzar más rápido.

MÓDULO II

Información utilizada en la modelación/utilización de datos climáticos

- El ministerio acepta lo que enviamos y su opinión va por el lado de los costos y beneficios.
- Es la DOP la que señala los parámetros técnicos respecto al cambio climático y el MDS acata.
- Los proyectos son enviados con el oleaje externo y sobrepasos, y el MDS acepta.
- Falta que el MDS confíe más en las competencias de la DOP

Métodos para estimar y valorizar daños directos/indirectos/beneficios por pérdidas evitadas

- La metodología impide identificar otro tipo de beneficios
- Zonas que están bien expuestas, son aisladas, con poca gente, entonces es difícil lograr la rentabilidad.
- Se podría ver cuánto vale la infraestructura que se resguarda, pero se debe llegar a consenso con el MDS

Métodos de comparación entre distintas alternativas

- En un momento la idea fue pensar en soluciones progresivas o adaptación progresiva

Distribución de beneficios en zonas vulnerables

- Si estás en costo beneficio va a hacer lo que es rentable, pero si estás en costo eficiencia, puede ser un poco más largo
- Hay otros instrumentos que permiten abordar obras dirigidas a estos grupos.

Limitaciones al desarrollo de proyectos multipropósitos

- Tiene que ver con generar coordinación y gobernanza entre distintos actores y uno de ellos es muy complejo que es el Ministerio de Medio Ambiente.
- Luego de la publicación de la ley sobre humedales urbanos todo se ha complejizado aún más

Métodos de cálculo de la rentabilidad social

- Valorización de las propiedades para análisis de daño evitado. Se busca valorar lo que ya está
- La forma de calcular los beneficios no está establecida metodológicamente.

Conocimiento y proceso de aplicación del PSC

- Se conoce pero no se ha utilizado. Es más aplicable a los proyectos de arquitectura.

MÓDULO III

Propuestas de cambio del SNI

- La protección costera debería ser por costo eficiencia
- Deberían existir lineamientos donde el Estado señala lo que debe hacer
- Hay que incorporar en el análisis los aspectos sobre cambio climático
- La barrera también está en el mismo ministerio, ya que la naturaleza es construir

Síntesis entrevista grupal MDS/DIRPLAN

MÓDULO I

Criterios y umbrales de priorización

- En el SNI actualmente se va de lo general a lo particular. Hay un cuerpo metodológico extenso, con metodologías de variada antigüedad que todavía tiene algunas brechas para tipologías de proyectos o sectores específicos.
- Se construyó una metodología general nueva para homogeneizar el lenguaje.
- Los temas específicos de cambio climático, en particular de adaptación y ocurrencia de efectos disruptivos, fuerza a pasar a incorporar la incertidumbre y el riesgo. En ese sentido el siguiente paso es un documento metodológico para abordar estos, pensando que esto posibilita la incorporación de enfoques como reducción de daños.

- El tema de mitigación estaría razonablemente cubierto con un precio del carbono recientemente estimado, con módulos en algunos sectores que permiten calcular las reducciones inducidas por distintas intervenciones.
- El próximo paso es un documento de orientaciones metodológicas para el tratamiento de incertidumbre y riesgo, pensando que esto habilita la adopción de enfoques como reducción de daños.
- Hay dos temas distintos: cómo los temas de adaptación le pegan a los proyectos "normales" y cómo evaluamos proyectos cuyo fin específico es aumentar niveles de adaptación. Se ha empezado simultáneamente en ambas direcciones.

Información de peligro y riesgo utilizada/vacío de datos

- No está convencido de que sea el Ministerio el encargado de definir supuestos técnicos, ya que las capacidades técnicas están en los sectores.
- Las metodologías de evaluación deben suponer estos datos, donde haya un consenso a nivel de Estado.
- Aún cuesta el tema de la valorización. Se ha logrado avanzar en el tema de las conservaciones y se ha hecho el símil a patrimonio natural.
- La metodología ya reconoce como fuente de beneficio de forma explícita el daño evitado.

Lineamientos de diseño por cambio climático

- En los diseños están incluidos todos estos temas, pero son costos adicionales. Por eso aún hay una brecha para ver cómo se valorizan los beneficios de esa obra adicional.
- Se reconoce que para adoptar un enfoque más territorial en el análisis de la inversión, las fronteras como los límites comunales más restan que suman.
- El área de influencia es donde se reflejan los impactos de la intervención.
- Es difícil encontrar un evento tipo que sea conveniente para usar a todo evento en la evaluación. A lo mejor se pueden utilizar distintos escenarios.
- Hay una brecha en el sistema respecto a los distintos escenarios, periodos de retorno, entre otros.

Limitaciones en la formulación y evaluación de SbN

- Se comenzó a trabajar en potenciales SbN, sin embargo, una de las cosas que complejiza su evaluación tiene que ver con beneficios colaterales, ya que tiene muchos efectos indirectos. Esto choca con el área de la influencia de la evaluación social.
- La metodología general habilita que sean incorporados efectos indirectos en la medida que estos puedan ser identificados y valorizados.
- Los eventos naturales van obligando a los servicios a proponer nuevos tipos de soluciones.
- Hay una diferencia en el tiempo de desarrollo de las metodologías y el ritmo en que llegan los proyectos de inversión
- Hay una voluntad para que, cuando no hay metodología específica, se utilice la metodología general

Brechas para utilizar otras soluciones

- Hoy día falta correr un riesgo y que los servicios vayan corriendo la barrera.
- En el ejemplo de la recarga de acuíferos hay una complejidad para definir quiénes se ven beneficiados
- Hay distintos temas donde aún están en la barrera del conocimiento
- Un ejemplo son los planes pilotos de aguas lluvias a través de la metodología de drenaje urbano sostenible

Integración de aprendizajes de eventos en el ciclo de inversión

- Ejemplo de embalse Las Palmas debe hacerse nuevamente por no haber considerado el cambio climático.
- Incorporar el cambio climático entrega más certidumbre respecto a la obra, su resiliencia, vida útil, beneficios.
- Conveniencia de que los procesos preinversionales se realicen dentro del sistema.

MÓDULO II

Información utilizada en la modelación/utilización de datos climáticos

- Instar a que a nivel de Estado se adopte un escenario específico, pero son decisiones que deben ser consensuadas
- La metodología general aspira a recoger los elementos comunes a la actividad de la evaluación social de proyectos.

Métodos para estimar y valorizar daños directos/indirectos/beneficios por pérdidas evitadas

- Lo conveniente es simular una situación con y sin interrupción y aplicando un enfoque probabilístico darle una probabilidad de ocurrencia a la interrupción. Cuando se lleva a la práctica implica aumentar el número de simulaciones requeridas. Además la probabilidad de ocurrencia del evento es un criterio técnico clave y la evaluación es muy sensible a eso.
- La probabilidad depende mucho del modelo que se ocupe

Métodos de comparación entre distintas alternativas

- Reconocimiento de la brecha. En el documento de orientaciones metodológicas para incertidumbre y riesgo hay un espacio dedicado a eso y se busca abrir la discusión

Distribución de beneficios en zonas vulnerables

- Se está trabajando en un documento con orientaciones metodológicas sobre análisis distributivo, que insta a descomponer los efectos del proyecto entre los distintos actores.

Cuando la información lo permita se presente en proyectos para los que se supone que esta dimensión es relevante.

- En la realidad chilena es muy importante el tema de los ingresos.

Limitaciones al desarrollo de proyectos multipropósitos

- Complejidad para incorporar en la evaluación los proyectos de otros servicios que aún están en una etapa muy temprana.

Métodos de cálculo de la rentabilidad social

- Aún no hay lineamientos para integrar en la evaluación el tema de la rentabilidad climática en el análisis de la rentabilidad social.

Conocimiento y proceso de aplicación del PSC

- Actualmente hay una consultoría para desarrollar guías prácticas sobre arbolado urbano y gestión de residuos.

MÓDULO III

Propuestas de cambio del SNI

- Flexibilizar el criterio de un VAN único determinístico. Se necesita más información para la toma de decisión, más aún en un contexto de alta incertidumbre.
- Actualización más rápida de las metodologías, gracias a la incorporación de una metodología general.
- Cómo abordar los proyectos cuyo fin es la adaptación al cambio climático.
- Abordar las inundaciones en la guía para la reducción de riesgo de desastres.
- Avanzar en valorizar aquello que es intangible.
- Se está sobreexigiendo para proyectos chicos y sub exigiendo para proyectos grandes.
- Avanzar en la transversalidad de los criterios de evaluación con las regiones.

Síntesis entrevista grupal DV

MÓDULO I

Criterios y umbrales de priorización

- Se realiza una jerarquización de cada una de las iniciativas que serán parte del proceso presupuestario en el año $n+2$.
- El tema de la resiliencia es algo que se está tratando de incorporar como un elemento indicativo.

- La forma de jerarquizar los proyectos apunta a la normativa madre del MDS que indica que los proyectos deben tener una rentabilidad, por lo tanto se deben identificar beneficios.
- En la medida que los proyectos sean rentables pueden avanzar en el proceso presupuestario. La rentabilidad es el principal indicador, a pesar de que se ha hecho un esfuerzo por incorporar nuevos elementos.
- Se han desarrollado metodologías al interior de la dirección, como es METVIAL, pero se llega a la cuantificación sin valorización. Estas sirven de apoyo para la priorización regional de proyectos pero mientras no haya valorización no pueden ser formalizadas.
- En el caso de puentes, a través de algoritmos se obtiene una calificación de los puentes, que está dada por los problemas en la estructura. En función del rango en el que se encuentra esa calificación hay acciones que se implementan. El análisis se enfoca netamente en la estructura, pero se deberían desarrollar metodologías que teniendo la calificación se complementa con la vulnerabilidad del lugar en el que se encuentran los puentes.
- En las prefactibilidades se hace un análisis de alternativas preliminares donde es difícil incorporar todos los criterios y umbrales. En el anteproyecto si se puede profundizar pero en la evaluación no hay una variable que permita cuantificar otros tipos de beneficios.
- Si el costo de conservación es superior al 30% de la reposición, se debe privilegiar la reposición.

Información de peligro y riesgo utilizada/vacío de datos

- Se trabaja en el marco del manual de carretera, que incluye un análisis estacionario de las condiciones hidrometeorológicas en base a lo que se hacen los análisis de frecuencias para identificar precipitaciones y caudales. El cambio climático no está normado en el manual aunque hay estudios incipientes que ha realizado Vialidad. Esto es una brecha, aunque sí se han considerado algunos criterios sobre cambio climático.
- Lo otro que ha variado mucho son las líneas de nieves, ya que afecta el caudal de crecida que se considera para el proyecto. Es importante hacer una proyección a futuro de las líneas de nieve.
- También van aumentando los niveles de mareas
- Se incorpora un grado de protección mayor a la estructura de los puentes.
- Hay bastantes vacíos de datos, tanto en cantidad como en calidad, no están todos los registros de cuencas lo que implica rellenar datos o hacer suposiciones sobre el comportamiento de las cuencas.
- Este año se estaría iniciando un estudio para actualizar el manual de carreteras para incorporar el cambio climático.

Lineamientos de diseño por cambio climático

- Cambios en la estructura de los puentes para dar una mayor seguridad.
- Producen problemas con la expropiación, diseño geométrico del proyecto y problemas estructurales al cambiar las características de los puentes

- Se podrían generar categorías especiales para puentes que consideren cambio climático.
- Se ha discutido sobre hacer el análisis de cuánto se va a ahorrar en reposición cuando se cuenta con un puente resiliente, lo que podría justificar el aumento del costo de las obras

Limitaciones en la formulación y evaluación de SbN

- Si funciona y demuestra su utilidad para los requisitos técnicos que tenga vialidad, se van a usar, pero aún falta mayor difusión y conocimiento.
- Es algo más incipiente que se está recién conociendo.

Brechas para utilizar otras soluciones

- Dificultad para incorporar tipologías especiales por el aumento de los costos y que permitirían no quedar tan vulnerables ante futuras socavaciones.
- Toda singularidad implica aumento de la inversión sin beneficios asociados.

Integración de aprendizajes de eventos en el ciclo de inversión

- Cambios en el diseño de los puentes podrían evitar socavaciones.
- Estas soluciones que en un principio no se justifican si podrían ayudar ante un evento excepcional.

MÓDULO II

Información utilizada en la modelación/utilización de datos climáticos

- Para la evaluación de crecida, para la determinación de las cuencas usan topografía a unos a 50.000 del IGN, complementada también con los modelos de elevación satelital o digital, que están disponibles de forma gratuita. Eso, porque para un estudio preinversión, después generalmente no se tiene mucha topografía de detalle de los sectores. Esto es básicamente para hablar de biología, después ya se hace alguna restitución de lo que quiere o lo que requiere ahí el estudio, pero generalmente no hay un análisis topográfico o batimétrico muy desarrollado en estos estudios, lo que sí pasa es cuando necesitan más complejos detalles.

Métodos para estimar y valorizar daños directos/indirectos/beneficios por pérdidas evitadas

- No se ha explorado el tema de beneficios por pérdidas evitadas.
- Se ha funcionado caso a caso y en la medida que el consultor explora una alternativa distinta como son los beneficios por daño evitado se consideran.

Distribución de beneficios en zonas vulnerables

- METVIAL permite recoger los elementos más relevantes de cada uno de los territorios. A nivel de perfil se ha logrado avanzar en la identificación, pero va en la línea de priorización de proyectos.
- Está el programa de pavimentos rurales.

Limitaciones al desarrollo de proyectos multipropósitos

- Se hacen estudios estratégicos donde se levanta y estudia el territorio y se concluye en una cartera de proyectos que puede incluir proyectos combinados.

Métodos de cálculo de la rentabilidad social

- Vialidad tiene proyectos urbanos e interurbanos. Para los interurbanos se tiene el análisis costo beneficio para la mayoría de los proyectos y solo hay algunas excepciones, como por ejemplo cuando son proyectos asociados al CMT, seis pasos fronterizos y planes en zonas de desarrollo.

Conocimiento y proceso de aplicación del PSC

- Hay una experiencia fallida, ya que se hizo una licitación sobre el tema pero quedó desierta.
- Cuando es un proyecto netamente vial no mueve la aguja.
- Se está avanzando en ver cómo medir la huella de carbono pero no se ha utilizado el PSC.
- La huella de carbono es alta en la operación pero baja en todas las otras etapas del proyecto.

MÓDULO III

Propuestas de cambio del SNI

- Valorizar la vulnerabilidad
- Considerar el costo de todo el ciclo de vida de la obra a la hora de evaluar el proyecto.
- En la medida que la metodología permita identificar territorios vulnerables se podrían priorizar el desarrollo de puentes resilientes en esos sectores.
- identificar objetivos diferenciados para los proyectos multipropósitos.

Anexo 3-3 | Análisis de proyectos seleccionados

Las siguientes tablas presentan los resultados de la aplicación de 24 indicadores de mejores prácticas a cada uno de los tres estudios de caso. La metodología completa está disponible en la [sección 3-2.5](#). Como recordatorio, la presencia o ausencia de indicadores fue calificada cualitativamente en una escala de semáforo:

Verde: El indicador es recurrente y se aplica de manera consistente de forma que informa la implementación (**Implementado**)

Naranja: El indicador está presente, pero carece de implementación o asignación clara de responsabilidad institucional (**Parcialmente implementado**)

Rojo: El indicador está ausente en los materiales del caso de estudio (**No implementado**)

Caso 1: Reposición Puente los Vientos en Ruta ZK-246

Tabla A3-3.1. Documentos Compartidos por MOP para Revisar en Caso 1.

#	Título	Autor	Fecha
1	Bases de Concurso: Estudio de Factibilidad Reposición Puente Los Vientos en Ruta ZK-426, Comuna de San Clemente	DV	2024
2	PPT Estudio Factibilidad Reposición Puente Los Vientos en Ruta ZK-426, Comuna de San Clemente	DV	2025
3	Estudio para la Incorporación de La Variable Cambio Climático en El Plan de Reconstrucción	DGOP / DV	2023
4	Etapas 2 Ingeniería Básica y Pre Análisis de Alternativas	Michell Consultores	2025

Tabla A3-3.2. Evaluación del Indicador “Semáforo” en Documentos del Estudio de Caso 1.

Dimensión	Categoría	Indicador	Integración de Documentación del Estudios de Caso
Marcos de Evaluación	Adaptación	Evaluación de Riesgo Climático basada en Índices Compuestos	La evaluación de riesgo está presente, específicamente para inundaciones y deslizamientos, pero no especifica índices compuestos; El estudio de integración del Cambio Climático recomienda índices compuestos pero pone más énfasis en la comprensión de riesgo singular

		Análisis Climático Multi-escenario	La evaluación climática está presente, pero sin mención de escenarios; El Estudio de Integración del Cambio Climático planifica para múltiples escenarios RCP
		Plan a Largo Plazo (50-100 años)	Se considera un período de recuperación de 10 y 100 años para los beneficios económicos, pero no hace mención de la adaptación; El Estudio Cambio Climático considera ventanas de 30 años
	Mitigación	Evaluación completa del ciclo de carbono	No se menciona el carbono, aunque la valoración social en un sentido económico es una prioridad
		Análisis de recuperación de carbono	
		Integración del PSC	
Estándar es de Diseño	Adaptación	Aumentos del 10-20% en cargas climáticas extremas	Planifica para cargas de inundación extremas
		Ajustes para temperatura y precipitación extremas	Planifica para precipitación extrema, pero no para aumentos de temperatura
		Factores de seguridad climática en ingeniería	Realiza evaluación detallada de condiciones geológicas para asegurar estabilidad y seguridad a largo plazo en medio del cambio climático
	Mitigación	Objetivos de intensidad de carbono incorporado	No se menciona el carbono
		Uso de materiales bajos en carbono	
		Objetivos de período de recuperación	
Métricas de	Adaptación	Tasas de continuidad del servicio (% tiempo	El uso del servicio y los beneficios sociales esperados son una prioridad para determinar si se debe construir un nuevo puente

Rendimiento		operacional)	
		Objetivos de tiempo de recuperación (24-72 horas)	Aunque se planifican las perturbaciones, no se menciona qué tan rápido pueden reanudarse los servicios después de una perturbación
		Calificaciones de resistencia operacional	Prioriza la resistencia pero no establece planes explícitos
	Mitigación	Intensidad de emisiones de GEI por unidad funcional	Se requiere un informe de emisiones, pero solo incluye material particulado y sus efectos
		Integración de energía renovable (%)	No se menciona la integración de energía renovable, pero hay una prioridad en proporcionar diseños alternativos y materiales que capturen la innovación
		Potencial de cambio modal en transporte	Analiza el potencial de desglose modal vehicular incluyendo transporte público, pero no se proyectan cambios en el uso de autobuses
Gestión Adaptiva	Adaptación	Flexibilidad de diseño para condiciones climáticas cambiantes	El estudio solicita estructuras de diseño alternativas y materiales considerando los efectos aumentados del cambio climático
		Capacidades de modificación de infraestructura	
		Monitoreo continuo del rendimiento climático	Establece planes para protocolos de monitoreo del sitio para asegurar que las condiciones del terreno permanezcan estables
	Mitigación	Monitoreo del rendimiento energético	No se menciona el monitoreo del rendimiento energético
		Actualización de tecnologías bajas en carbono	No se menciona las tecnologías bajas en carbono; las emisiones se consideran solo para material particulado
		Alineación con objetivos nacionales de	No se menciona los objetivos nacionales de reducción

		reducción	
--	--	-----------	--

Caso 2: Diseño Conservación defensas costeras sectores Avenida Perú y Juan de Saavedra

Tabla A3-3.3. Documentos Compartidos por MOP para Revisar en Caso 2.

#	Título	Autor	Fecha
1	Informe Etapa 1: Recopilación, Revisión, y Análisis de Antecedentes, y Trabajos de Terreno (Topobatismetría)	INH / DOP	2016
2	Informe Etapa 2: Estudio de Oleaje	INH / DOP	2016
3	Informe Etapa 3: Modelación Física Av. Perú	INH / DOP	2017
4	Informe Etapa 3A: Modelación Física Alternativa de Playa en Av. Perú	INH / DOP	2017
5	Informe Etapa 4: Modelación Física Paseo Juan de Saavedra	INH / DOP	2018

Tabla A3-3.4. Evaluación del Indicador "Semáforo" en Documentos del Estudio de Caso 2.

Dimensión	Categoría	Indicador	Integración de Documentación del Estudios de Caso
Marcos de Evaluación	Adaptación	Proyecciones de Aumento del Nivel del Mar (0.3-2.5 m para 2100)	Utiliza un escenario pesimista RCP8.5 para modelar futuras olas y mareas, en el momento 50 años para 2066
		Monitoreo de marejada ciclónica multi-escenario	La marejada ciclónica se modela bajo escenarios climáticos y aberraciones de viento y presiones atmosféricas
		Evaluación de riesgos costeros compuestos	Considera las mareas y olas como "factores forzantes", complicados por el monitoreo de marejada ciclónica, viento y presión
	Mitigación	Evaluación del ciclo de carbono azul	No hace consideración del carbono azul
		Priorización de soluciones de carbono azul	No hace consideración del carbono azul
		Cuantificación de servicios ecosistémicos	No hace consideración de los servicios ecosistémicos costeros

		costeros	
Estándares de Diseño	Adaptación	Elevaciones de diseño ajustadas al clima	Los diseños alternativos incluyen modificaciones de altura a estructuras existentes
		Factores de intensificación de tormentas (10-20%)	Considera mareas y olas intensificadas por el cambio climático, pero no considera eventos de pulso de tormenta
		Estándares de protección de período de retorno	Considera períodos de retorno de 8 y 100 años
	Mitigación	Objetivos de intensidad de carbono para defensas costeras	No hace consideración del carbono azul
		Materiales circulares y reciclados	Considera estructuras de roca, arena y concreto prefabricado, que podrían ser recicladas, pero no establece explícitamente vías circulares o reciclaje
		Diseño multifuncional con co-beneficios	Considera diseños multifuncionales con oportunidades para beneficios sociales
Métricas de Rendimiento	Adaptación	Disponibilidad del servicio bajo escenarios climáticos	No considera la disponibilidad del servicio
		Resistencia operacional (50-100 años)	Toma decisiones sobre alternativas de diseño basadas no solo en efectividad, sino también en porcentaje dañado
		Capacidad de gestión de retroceso costero	No considera el retroceso costero
	Mitigación	Secuestro de carbono azul (2-10 tCO ₂ /ha/año)	No hace consideración del carbono azul
		Integración de energía renovable marina	No hace consideración de la energía renovable marina
		Beneficios de la	No hace consideración de la restauración de

		restauración de hábitat costero	hábitat costero
Gestión Adaptiva	Adaptación	Estrategias flexibles de gestión costera	No hace consideración de la gestión adaptativa
		Planificación de realineación del límite costero	No hace consideración de la realineación para el límite costero
		Sistemas de protección adaptativa	No hace consideración de sistemas de protección adaptativa
	Mitigación	Coordinación con energía renovable marina	No hace consideración de la energía renovable marina
		Restauración de ecosistemas costeros	No hace consideración de los servicios ecosistémicos costeros
		Gestión de carbono a escala del paisaje marino	No hace consideración del carbono azul

Caso 3: Obras de Control Aluvional en Quebrada Bonilla

Tabla A3-3.5. Documentos Compartidos por MOP para Revisar en Caso 3.

#	Título	Autor	Fecha
1	Actualización de Diseño de Obras de Control Aluvional en Quebrada Bonilla, Antofagasta: Informe Final	DOH / AC Ingenieros Consultores	2022
2	Anexo I Revisión y Análisis Crítico del Proyecto EWI & AC Ingenieros Consultores	DOH / AC Ingenieros Consultores	2022
3	Anexo VI Análisis Hidrológico con Proyecciones de Cambio Climático	DOH / AC Ingenieros Consultores	2022
4	Anexo VIII Uso de Suelos con Fines Urbanos y Plan de Emergencia	DOH / AC Consultores	2022
5	Anexo XIV Evaluación Económica	DOH / AC Consultores	2022

6	Anexo XVI Recomendaciones de Operación y Mantenimiento	DOH / AC Consultores	2022
7	Informe Pertinencia Ambiental	DOH / AC Consultores	2022

Tabla A3-3.6. Evaluación del Indicador “Semáforo” en Documentos del Estudio de Caso 3. Fuente: Elaboración propia, 2025.

Dimensión	Categoría	Indicador	Integración de Documentación del Estudios de Caso
Marcos de Evaluación	Adaptación	Aumento en precipitación (20-40%)	Modelado extensivo de aumentos en tasas máximas de precipitación, hasta 20%
		Modelado de caudal multi-escenario	Modelado extensivo de parámetros de caudal bajo diferentes escenarios, incluyendo RCP2.6 y RCP8.5
		Evaluación de riesgo de inundación compuesto	Modelado extensivo de parámetros de caudal bajo diferentes escenarios, incluyendo RCP2.6 y RCP8.5. También se calculan los costos sociales de las inundaciones
	Mitigación	Evaluación de carbono de infraestructura fluvial	Se refiere vagamente a las emisiones de carbono de las mejoras de construcción, hace referencia a un impacto mínimo
		Priorización de SbN	No hace referencia a SbN
		Cuantificación de carbono ribereño y de humedales	No cuantifica el carbono en ningún punto del entorno del proyecto o ciclo de vida del carbono
Estándares de Diseño	Adaptación	Ajustes de período de retorno para defensas	Los períodos de retorno se están alargando y van de 2 a 500 años
		Factores de cambio climático en modelado hidrológico	Modelado extensivo utilizando escenarios del IPCC (RCP2.6, RCP8.5, A1, A2, B1, B2)
		Diseño de infraestructura fluvial multifuncional	Considera múltiples diseños y esquemas para alternativas
	Mitigación	Objetivos de carbono incorporado para estructuras	No establece objetivos de carbono

		Materiales circulares en construcción	No establece planes específicos para material reciclado
		Integración de eficiencia energética	No hace referencia a la eficiencia energética
Métricas de Rendimiento	Adaptación	Confiabilidad del servicio bajo condiciones hidrológicas cambiantes	Prioriza la confiabilidad del servicio bajo diferentes escenarios, cuantificando beneficios sociales
		Capacidad de gestión de eventos extremos	Prioriza la confiabilidad del servicio bajo diferentes escenarios, cuantificando beneficios sociales
		Resistencia de cuenca a largo plazo	Hace referencia a restricciones de planificación en instrumentos de planificación territorial en áreas vulnerables de la cuenca, pero no emplea un enfoque holístico basado en la cuenca. Establece protocolos para mantenimiento a largo plazo para mantener la eficacia
	Mitigación	Secuestro de carbono ribereño (tCO2/ha/año)	No calcula el secuestro de carbono ribereño
		Beneficios de restauración de llanura de inundación	No hay captura y almacenamiento de carbono por servicios ecosistémicos
		Integración de energía renovable en instalaciones	No menciona específicamente la energía renovable
Gestión Adaptiva	Adaptación	Gestión adaptativa de cuenca	No prioriza acciones de gestión adaptativa
		Coordinación aguas arriba-aguas abajo	Examina diferencias en instrumentos de planificación territorial entre áreas aguas arriba y aguas abajo, haciendo diferentes recomendaciones en cada una
		Integración de procesos fluviales naturales	Hace consideraciones para mantener el estado natural en áreas donde sea factible
	Mitigación	Gestión de carbono a escala de cuenca	No hace referencia a la gestión de carbono a escala de cuenca

		Restauración de conectividad de llanura de inundación	No calcula la conectividad de llanura de inundación
		Co-beneficios de calidad del agua y biodiversidad	No proporciona beneficios a la calidad del agua o biodiversidad, pero tampoco crea impactos negativos. Establecido como criterio en evaluación ambiental pero no aplicado a este estudio de caso

Análisis Costo-Beneficio de Evaluación por Caso 3

Los principales costos del proyecto a considerar son:

- Construcción de las obras
- Mantenimiento y operación de las obras

Por otro lado, los principales beneficios del proyecto que la metodología indica que deben considerarse, son las siguientes

- Beneficios por menor daño en propiedades residenciales
- Beneficio por recuperación de terrenos baldíos anegadizos
- Beneficio por menor daño en propiedades comerciales e industriales
- Beneficio por menor daño en establecimientos públicos
- Beneficio por menor daño en vehículos
- Beneficio por menor deterioro de la infraestructura vial
- Beneficio por menores gastos de emergencia y limpieza de vías, sumideros y calles
- Beneficio por disminución de los Costos Generalizados de Viaje
- Beneficio por menor ausentismo laboral
- Beneficio por menor ausentismo escolar
- Liberación de recursos públicos en salud
- Liberación de recursos públicos en ONEMI

Anexo 3-4 | Comparación de países

Hallazgos principales

Síntesis de indicadores climáticos identificados

A partir de la revisión realizada, las siguientes tablas resumen los indicadores climáticos para evaluación de inversión en infraestructura pública en los países seleccionados. La información se estructura por países y se agrupa en los siguiente campos: Indicadores de Adaptación; Indicadores de Mitigación.

Tabla A3-4.1. Indicadores de Adaptación. Fuente: Elaboración propia, 2025.

País	Indicadores Principales de Adaptación	Métricas Específicas	Unidad de Medida	Marco de Evaluación
Canadá	Índice de Riesgo Climático	Puntuación compuesta basada en exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa	Escala 0-100	Evaluación de Lente Climático
	Ajuste de Estándares de Diseño	Factores de cambio climático en parámetros de ingeniería (cargas de precipitación aumentadas, extremos de temperatura)	Porcentaje de incremento (%)	Directrices de Canadian Standards Association
	Métricas de Continuidad de Servicio	Disponibilidad operacional esperada bajo escenarios climáticos	Porcentaje de tiempo operacional (%)	Metodología de Infrastructure Canada
	Tiempo de Recuperación	Duración para restauración de servicio después de interrupciones climáticas	Horas o días	Marco de Public Safety Canada
	Estándar de Protección contra Inundaciones	Niveles de protección de diseño en períodos de retorno usando Condiciones Límite Hidráulicas	Años (período de retorno)	Metodología del Programa Delta

Países Bajos 	Puntuación de Prueba de Estrés Climático	Vulnerabilidad a calor, sequía, inundaciones, precipitación extrema (Atlas de Impacto Climático)	Escala 1-5	Planificación Resistente al Clima
	Índice de Capacidad Adaptativa	Flexibilidad de infraestructura para futuros cambios climáticos	Escala 0-1	Marco de Deltares
	Eficiencia de Uso de Suelo Multi-Funcional	Optimización para gestión de inundaciones, recreación, biodiversidad	Número de funciones por hectárea	Directrices de Rijkswaterstaat
Australia 	Calificación de Riesgo Climático	Exposición, sensibilidad, capacidad adaptativa usando herramienta Climate Compass	Escala A-E	Evaluación de Riesgo Climático Australiana
	Ajuste de Estándar de Diseño	Estándares Australianos actualizados para cargas de clima extremo	Factor de seguridad multiplicador	Standards Australia
	Índice de Resiliencia Operacional	Disponibilidad de servicio bajo escenarios climáticos durante 50-100 años	Porcentaje de disponibilidad (%)	Infrastructure Australia
	Puntuación de Capacidad de Recuperación	Tiempo y costo para restauración después de interrupciones climáticas	Días y AUD	Emergency Management Australia
Inglaterra	Puntuación de Riesgo Climático	Evaluación de vulnerabilidad de metodología de Evaluación de Riesgo de Cambio Climático	Escala 1-10	Evaluación de Riesgo Climático del Reino Unido

	Resiliencia de Estándar de Diseño	Tolerancias de cambio climático (aumento del 20% en intensidad de lluvia pico)	Porcentaje de incremento (%)	Orientación de Environment Agency
	Índice de Continuidad de Servicio	Rendimiento operacional bajo escenarios climáticos durante 60-100 años	Porcentaje de tiempo operacional (%)	Infrastructure and Projects Authority
	Objetivo de Tiempo de Recuperación	Duración objetivo de restauración (24-72 horas para infraestructura crítica)	Horas	Directrices de Cabinet Office
	Índice de Riesgo Climático	Índice Nacional de Riesgo de FEMA incorporando exposición a peligros y vulnerabilidad	Escala 0-100	Marco Federal de Riesgo Climático
	Resiliencia de Estándar de Diseño	Proyecciones climáticas en estándares de ingeniería	Factor de seguridad multiplicador	Directrices Resilientes al Clima de ASCE
	Métrica de Confiabilidad de Servicio	Rendimiento operacional bajo escenarios climáticos durante 50-75 años	Porcentaje de confiabilidad (%)	Directrices de Resiliencia Climática de DOT
	Índice de Tiempo de Recuperación	Duración de restauración de servicio después de interrupciones climáticas	Horas o días	Métricas de Infraestructura Crítica de DHS

Tabla A3-4.2: Indicadores de Mitigación. Fuente: Elaboración propia, 2025.

País	Indicadores Principales de Mitigación	Métricas Específicas	Unidad de Medida	Marco de Evaluación
	Intensidad de Emisiones GEI	Toneladas CO2 equivalente por unidad de servicio/capacidad de infraestructura	tCO2eq/unidad funcional	Evaluación de Lente Climático

Canadá 	Período de Recuperación de Carbono	Tiempo para que reducciones de emisiones compensen emisiones de construcción	Años	Metodología de Standards Council
	Rendimiento Energético	Mejoras en eficiencia energética y tasas de integración renovable	Porcentaje (%)	Natural Resources Canada
	Potencial de Cambio Modal	Reducción en uso de vehículos privados y emisiones asociadas (transporte)	Porcentaje de reducción (%)	Directrices de Transport Canada
Países Bajos 	Huella de Carbono por Unidad de Infraestructura	Toneladas CO2 equivalente por km o capacidad funcional (Base de Datos LCA Holandesa)	tCO2eq/km o tCO2eq/unidad	Planificación Resistente al Clima
	Efectividad de Reducción de Emisiones	Ahorros anuales de GEI como costo por tonelada CO2 evitada (referencia €100/tonelada)	€/tCO2eq evitada	Ministry of Economic Affairs
	Índice de Material Circular	Porcentaje de materiales reciclados/base biológica (Programa de Economía Circular)	Porcentaje (%)	Ministry of Infrastructure
Australia 	Coeficiente de Rendimiento Energético	Energía renovable y eficiencia en operaciones de infraestructura	Ratio energía renovable/total	Netherlands Enterprise Agency
	Referencia de Intensidad de Carbono	Toneladas CO2 equivalente por millón AUD invertido	tCO2eq/millón AUD	Clean Energy Regulator
Australia 	Potencial de Reducción de Emisiones	Ahorros anuales de GEI vs líneas base del Mecanismo de Salvaguarda	tCO2eq/año	Department of Industry

	Tasa de Integración de Energía Renovable	Energía del proyecto de renovables alineada con Objetivo de Energía Renovable	Porcentaje (%)	Australian Energy Market Operator
	Coeficiente de Carbono Incorporado	Emisiones de ciclo de vida de materiales de construcción	tCO ₂ eq/tonelada material	Green Building Council Australia
Ingllaterra 	Alineación con Presupuesto de Carbono	Emisiones del proyecto vs asignaciones de Presupuesto de Carbono para ruta net-zero	tCO ₂ eq vs presupuesto asignado	Climate Change Committee
	Intensidad de Carbono Incorporado	kg CO ₂ equivalente por unidad funcional usando estándares RICS	kgCO ₂ eq/unidad funcional	RICS Professional Standards
	Rendimiento de Carbono Operacional	Emisiones anuales comparadas contra estándares BREEAM	tCO ₂ eq/año	Building Research Establishment
	Período de Recuperación de Carbono	Tiempo para que reducciones de emisiones compensen construcción (objetivo 10-15 años)	Años	Construction Industry Research
Estados Unidos 	Intensidad de Gases de Efecto Invernadero	Toneladas métricas CO ₂ equivalente por millón de dólares invertidos	tCO ₂ eq/millón USD	Programa de Reporte de GEI de EPA
	Evaluación de Carbono de Ciclo de Vida	Emisiones de cuna a tumba usando base de datos Federal LCA Commons	tCO ₂ eq total del ciclo de vida	Directrices EPA/AASHTO
	Tasa de Integración de Energía Limpia	Energía del proyecto de renovables alineada con Estándar de Electricidad Limpia	Porcentaje (%)	Department of Energy
	Efectividad de Reducción de Carbono	Ahorros anuales de GEI por dólar invertido vs Curvas de Costo de EPA	tCO ₂ eq/USD invertido	Metodología de EPA

Fichas de descripción del análisis por país

Tabla A3-4.3: Ficha de análisis de Canadá. Fuente: Elaboración propia, 2025.

Ficha de análisis: Canadá

Marco de Política

El enfoque del gobierno federal está anclado por el Marco Pancanadiense sobre Crecimiento Limpio y Cambio Climático (Environment and Climate Change Canada, 2016) y el Programa de Infraestructura Invirtiendo en Canadá (ICIP) (Infrastructure Canada, 2018). Estos marcos requieren evaluaciones de lente climático para proyectos de infraestructura importantes, asegurando que las consideraciones climáticas se incorporen sistemáticamente en las fases de diseño, evaluación e implementación del proyecto (Treasury Board Secretariat, 2020).

Enfoques Metodológicos: Evaluación de Lente Climático

Canadá emplea una metodología de Lente Climático para proyectos de infraestructura que reciben financiamiento federal superior a \$10 millones (Infrastructure Canada, 2019). Este enfoque incluye dos componentes complementarios:

1. **Evaluación de Mitigación:** Evalúa cómo los proyectos contribuyen a las reducciones o aumentos de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), utilizando análisis de ciclo de vida y metodologías de contabilidad de carbono (Standards Council of Canada, 2021).
2. **Evaluación de Resiliencia:** Examina la vulnerabilidad del proyecto a peligros climáticos e incorpora medidas de adaptación para asegurar la funcionalidad a largo plazo bajo condiciones climáticas cambiantes (Natural Resources Canada, 2020).

Evaluación Basada en Riesgo

Los proyectos se someten a evaluaciones de riesgo climático utilizando modelado probabilístico y análisis de escenarios basados en proyecciones climáticas de Environment and Climate Change Canada (Bush & Lemmen, 2019). Esto incluye evaluación de eventos meteorológicos extremos, cambios de temperatura, patrones de precipitación e impactos del aumento del nivel del mar (Canadian Standards Association, 2019).

Mejora del Análisis Costo-Beneficio

Los métodos tradicionales de evaluación económica se mejoran con análisis costo-beneficio ajustado al clima que incorpora (Treasury Board Secretariat, 2022):

- PSC (Environment and Climate Change Canada, 2022)
- Co-beneficios y co-costos climáticos
- Daños evitados por impactos climáticos
- Implicaciones de costos operacionales a largo plazo

Indicadores y Métricas Específicos

Indicadores de Mitigación

- Intensidad de Emisiones GEI: Medida en toneladas de CO₂ equivalente por unidad de servicio o capacidad de infraestructura (ISO 14064-1, 2018)
- Período de Recuperación de Carbono: Tiempo requerido para que las reducciones de emisiones compensen las emisiones relacionadas con la construcción (Green Building Council Canada, 2020)
- Rendimiento Energético: Mejoras en eficiencia energética y tasas de integración de energía renovable (Natural Resources Canada, 2021)

- Potencial de Cambio Modal: Para proyectos de transporte, reducción medida en el uso de vehículos privados y emisiones asociadas (Transport Canada, 2019)

Indicadores de Resiliencia

- Índice de Riesgo Climático: Puntuación compuesta basada en evaluaciones de exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa (Public Safety Canada, 2019)
- Ajuste de Estándares de Diseño: Incorporación de factores de cambio climático en parámetros de diseño de ingeniería (Engineers Canada, 2020)
- Métricas de Continuidad del Servicio: Disponibilidad operacional esperada bajo varios escenarios climáticos (Canadian Standards Association, 2020)
- Tiempo de Recuperación: Duración esperada para la restauración del servicio después de interrupciones relacionadas con el clima (Infrastructure Canada, 2021)

Indicadores Económicos

- Valor Presente Neto Ajustado al Clima (VPN): Cálculo tradicional de VPN incorporando costos y beneficios climáticos (Treasury Board Secretariat, 2021)
- Relación Beneficio-Costo con Factores Climáticos: Relación mejorada incluyendo daños climáticos evitados y beneficios de mitigación (Parliamentary Budget Officer, 2020)
- Valor de Opciones Reales: Valor económico de la flexibilidad para adaptar infraestructura a lo largo del tiempo conforme evolucionan las condiciones climáticas (Canadian Institute of Actuaries, 2019)

Desafíos de Implementación e Innovaciones

Los gobiernos provinciales han desarrollado enfoques complementarios, con el Secretariado de Acción Climática de Columbia Británica (Government of British Columbia, 2020) y el Plan de Acción sobre Cambio Climático de Ontario (Government of Ontario, 2018) proporcionando marcos de evaluación adicionales. Las innovaciones clave incluyen el uso del Conocimiento Tradicional Indígena en evaluaciones de impacto climático (Indigenous Services Canada, 2021) y el desarrollo de métricas de SbN para proyectos de infraestructura verde (Federation of Canadian Municipalities, 2020).

El proceso de integración enfrenta desafíos incluyendo disponibilidad de datos, incertidumbre en las proyecciones climáticas y la necesidad de metodologías estandarizadas entre jurisdicciones (Auditor General of Canada, 2021). Sin embargo, el enfoque de Canadá representa un esfuerzo integral para integrar consideraciones climáticas en las decisiones de inversión pública, sirviendo como modelo para otras jurisdicciones que buscan hacer sus inversiones en infraestructura resistentes al clima (OECD, 2020).

Conclusión

La integración de Canadá del cambio climático en evaluaciones de inversión pública representa un enfoque sistemático que combina requisitos de política, rigor metodológico e indicadores prácticos. Este marco asegura que las inversiones en infraestructura pública contribuyan a los objetivos climáticos mientras mantienen resiliencia contra futuros impactos climáticos, apoyando tanto objetivos de mitigación como de adaptación dentro de un sistema de evaluación coherente (Canadian Climate Institute, 2022).

Tabla A3-4.4: Ficha de análisis de Países Bajos. Fuente: Elaboración propia, 2025.

Ficha de análisis: Países Bajos

Marco de Política

El marco de integración climática holandés está anclado por la Ley del Clima (Klimaatwet) de

2019 y la Estrategia Nacional de Adaptación Climática (NAS) (Government of the Netherlands, 2020). El Programa Delta sirve como el vehículo principal para hacer resistente al clima las inversiones en infraestructura, requiriendo que todos los proyectos públicos importantes se sometan a evaluaciones climáticas comprensivas (Delta Programme Commissioner, 2021). El marco se operacionaliza a través de la Ley de Evaluación Ambiental que exige evaluaciones de impacto climático para proyectos que excedan €50 millones (Netherlands Environmental Assessment Agency, 2021).

Enfoques Metodológicos: Planificación Resistente al Clima

Los Países Bajos emplean la metodología de Planificación Resistente al Clima, desarrollada por Deltares y el Instituto Meteorológico Real de los Países Bajos (KNMI), que integra proyecciones climáticas en el diseño y evaluación de infraestructura (Deltares, 2020). Este enfoque incluye:

1. **Análisis Multiescenario:** Evaluación utilizando cuatro escenarios climáticos (KNMI'23) que van desde calentamiento moderado (+1.5°C) hasta extremo (+4°C) con las correspondientes proyecciones de precipitación y aumento del nivel del mar (KNMI, 2023).
2. **Gestión Adaptativa del Delta:** Enfoque de planificación dinámica que construye flexibilidad en los sistemas de infraestructura para responder a condiciones climáticas evolutivas a lo largo del tiempo (Delta Programme Commissioner, 2020).

Análisis de Decisión Multicriterio (MCDA)

Las evaluaciones de infraestructura holandesas emplean Análisis de Decisión Multi-Criterio mejorado con consideraciones climáticas, siguiendo las Directrices OEI (Research for Policy) desarrolladas por CPB Netherlands Bureau for Economic Policy Analysis (CPB, 2021). Esta metodología pondera la eficiencia económica contra la mitigación climática, beneficios de adaptación y co-beneficios.

Valoración de Servicios Ecosistémicos

Los Países Bajos fueron pioneros en la valoración sistemática de servicios ecosistémicos en proyectos de infraestructura a través del marco de Contabilidad de Capital Natural, cuantificando servicios de regulación climática, protección contra inundaciones y beneficios de secuestro de carbono (Netherlands Environmental Assessment Agency, 2022).

Indicadores y Métricas Específicos

Indicadores de Mitigación

- Huella de Carbono por Unidad de Infraestructura: Medida en toneladas CO₂ equivalente por kilómetro de infraestructura o capacidad funcional, utilizando la Base de Datos LCA Holandesa (NIBE, 2021)
- Efectividad de Reducción de Emisiones: Ahorros anuales de GEI expresados como costo por tonelada CO₂ evitada, comparado con el precio de carbono de €100/tonelada (Ministry of Economic Affairs, 2022)
- Índice de Material Circular: Porcentaje de materiales reciclados y de base biológica utilizados, siguiendo los objetivos del Programa de Transición de Economía Circular (Ministry of Infrastructure and Water Management, 2021)
- Coeficiente de Rendimiento Energético: Integración de sistemas de energía renovable y medidas de eficiencia energética en operaciones de infraestructura (Netherlands Enterprise Agency, 2021)

Indicadores de Adaptación

- Estándar de Protección contra Inundaciones: Niveles de protección de diseño expresados

en períodos de retorno, ajustados para cambio climático utilizando Condiciones Límite Hidráulicas actualizadas cada seis años (Rijkswaterstaat, 2021)

- Puntuación de Prueba de Estrés Climático: Índice de vulnerabilidad compuesto basado en exposición a estrés por calor, sequía, inundaciones y precipitación extrema utilizando el Atlas de Impacto Climático (Climate Impact Atlas, 2020)
- Índice de Capacidad Adaptativa: Medida de flexibilidad de infraestructura para acomodar futuros cambios climáticos, incluyendo diseño modular y potencial de actualización (Deltares, 2021)
- Eficiencia de Uso de Suelo Multi-Funcional: Optimización de infraestructura para proporcionar múltiples servicios incluyendo gestión de inundaciones, recreación y biodiversidad (Rijkswaterstaat, 2020)

Indicadores Económicos

- Valor Presente Neto Ajustado al Clima: Cálculo tradicional de VPN incorporando costos, beneficios e incertidumbres climáticas sobre períodos de evaluación de 100 años (CPB, 2021)
- Índice de Robustez: Rendimiento económico a través de múltiples escenarios climáticos, midiendo la estabilidad de retornos de inversión bajo incertidumbre (Netherlands Environmental Assessment Agency, 2021)
- Multiplicador de Co-Beneficios: Relación de beneficios sociales totales (incluyendo salud, biodiversidad, recreación) a beneficios directos de infraestructura (Ministry of Finance, 2021)
- Evaluación de Valor de Opción: Valor económico de mantener flexibilidad para futuras adaptaciones climáticas utilizando metodología de opciones reales (CPB, 2020)

Implementación e Innovación

Integración de Planificación Espacial

- Los Países Bajos integran consideraciones climáticas en la planificación espacial a través de la Visión Ambiental Nacional (NOVI), que requiere diseño resistente al clima para todos los desarrollos importantes (Ministry of the Interior, 2021). La Ley de Planificación Ambiental exige evaluaciones de impacto climático a niveles regionales y locales.

Herramientas y Plataformas Digitales

- El Atlas de Impacto Climático proporciona mapeo estandarizado de riesgo climático para planificación de infraestructura, mientras que el Modelo Delta permite evaluación integrada de riesgo de inundación, impactos económicos y medidas de adaptación (Deltares, 2022). La Aplicación Climática permite evaluación de impacto climático en tiempo real durante las fases de diseño del proyecto.

SbN

- Los Países Bajos han desarrollado criterios de evaluación integrales para SbN a través del Programa Building with Nature, incluyendo métricas para efectividad de protección costera, mejora de biodiversidad y valor recreacional (EcoShape, 2021).

Monitoreo y Evaluación del Rendimiento

- El Programa Delta emplea monitoreo adaptativo a través del Programa de Monitoreo y Evaluación para el Programa Delta (MPED), que rastrea indicadores de rendimiento climático y ajusta estrategias basadas en tendencias climáticas observadas y rendimiento de infraestructura (Delta Programme Commissioner, 2022).

Desafíos e Innovaciones

Los desafíos clave incluyen manejar incertidumbre profunda en proyecciones climáticas a largo plazo y coordinar a través de múltiples niveles de gobernanza en una región delta densamente poblada (Netherlands Environmental Assessment Agency, 2020). El enfoque

holandés enfatiza la planificación de rutas adaptativas y metodologías de toma de decisiones bajo incertidumbre profunda para abordar estos desafíos (Deltares, 2020).

Conclusión

La integración de los Países Bajos del cambio climático en evaluaciones de inversión pública representa un enfoque líder mundial que combina rigor científico con implementación práctica. El modelo holandés enfatiza gestión adaptativa, diseño de infraestructura multi-funcional y monitoreo sistemático del rendimiento, proporcionando lecciones valiosas para otras regiones delta y países que enfrentan riesgos climáticos significativos (OECD, 2021).

Tabla A3-4.5: Ficha de análisis de Australia. Fuente: Elaboración propia, 2025.

Ficha de análisis: Australia

Marco de Política

La estrategia de integración climática de Australia está anclada por la Ley de Cambio Climático 2022 y la Estrategia Nacional de Resiliencia y Adaptación Climática (Australian Government, 2021). El Marco de Evaluación de Infraestructura Australia requiere evaluaciones de riesgo climático para todos los proyectos de infraestructura nacionalmente significativos, mientras que la Guía del Gobierno Australiano para Regulación exige evaluaciones de impacto climático para proyectos que excedan AUD \$100 millones (Infraestructura Australia, 2021). Los gobiernos estatales han desarrollado marcos complementarios, incluyendo el Marco de Cambio Climático de Victoria y la Política de Infraestructura Resiliente al Clima de Queensland (State of Victoria, 2020; Queensland Government, 2021).

Marco de Evaluación de Riesgo Climático

Australia emplea la metodología de Evaluación de Riesgo Climático Australiana desarrollada por la Oficina de Meteorología y CSIRO, que evalúa la vulnerabilidad de infraestructura utilizando proyecciones climáticas reducidas y modelado de eventos extremos (Bureau of Meteorology, 2020). Este marco incluye:

1. **Evaluación de Peligros:** Evaluación de peligros climáticos incluyendo extremos de temperatura, cambios de precipitación, aumento del nivel del mar y eventos meteorológicos extremos utilizando proyecciones de Cambio Climático en Australia (CSIRO, 2020).
2. **Análisis de Vulnerabilidad y Riesgo:** Evaluación de exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa de infraestructura utilizando el Marco Nacional de Adaptación al Cambio Climático (Department of Agriculture, Water and the Environment, 2021).

Evaluación de Impacto Regulatorio (RIA)

Los proyectos de infraestructura se someten a Evaluación de Impacto Regulatorio mejorada que incorpora consideraciones climáticas siguiendo la Guía del Gobierno Australiano para Análisis de Impacto Regulatorio (Department of the Prime Minister and Cabinet, 2020). Esto incluye:

- PSC a AUD \$51 por tonelada CO2 equivalente
- Cuantificación de co-beneficios incluyendo mejoras en calidad del aire y salud
- Evaluación de daños climáticos evitados y beneficios de adaptación

Modelado de Evaluación Integrada

Australia utiliza modelado de evaluación integrada a través del Modelo Australiano de Clima y

Energía (AusACEM) para evaluar contribuciones de infraestructura a objetivos nacionales de reducción de emisiones e impactos económicos (Treasury, 2021).

Indicadores y Métricas Específicos

Indicadores de Mitigación

- Referencia de Intensidad de Carbono: Medida en toneladas CO₂ equivalente por millón AUD invertido, comparada con líneas base específicas del sector (Clean Energy Regulator, 2021)
- Potencial de Reducción de Emisiones: Ahorros anuales de GEI expresados en toneladas CO₂ equivalente, evaluados contra líneas base del Mecanismo de Salvaguarda (Department of Industry, Science and Resources, 2022)
- Tasa de Integración de Energía Renovable: Porcentaje de demanda energética del proyecto satisfecha a través de fuentes renovables, alineada con objetivos del Objetivo de Energía Renovable (Australian Energy Market Operator, 2021)
- Coeficiente de Carbono Incorporado: Emisiones de carbono del ciclo de vida de materiales de construcción, siguiendo estándares del Green Building Council Australia (Green Building Council Australia, 2020)

Indicadores de Adaptación

- Calificación de Riesgo Climático: Puntuación compuesta basada en exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa utilizando la herramienta de evaluación Climate Compass (Australian Academy of Science, 2021)
- Ajuste de Estándar de Diseño: Incorporación de factores de cambio climático en diseño de ingeniería, incluyendo Estándares Australianos actualizados para cargas de clima extremo (Standards Australia, 2021)
- Índice de Resiliencia Operacional: Disponibilidad de servicio esperada bajo varios escenarios climáticos durante la vida de diseño del activo, típicamente 50-100 años (Infrastructure Australia, 2020)
- Puntuación de Capacidad de Recuperación: Tiempo y costo esperados para restauración de infraestructura después de interrupciones relacionadas con el clima (Emergency Management Australia, 2021)

Indicadores Económicos

- Relación Beneficio-Costo Ajustada al Clima: Análisis económico mejorado incorporando costos y beneficios climáticos utilizando Directrices de Infrastructure Australia (Infrastructure Australia, 2021)
- Valor de Daño Evitado: Beneficios monetizados de riesgos climáticos reducidos, calculados utilizando estimaciones de costo de daño de la Comisión de Productividad (Productivity Commission, 2020)
- Eficiencia de Inversión en Adaptación: Costo-efectividad de medidas de adaptación expresada como AUD por unidad de reducción de riesgo (Australian Business Roundtable, 2021)
- Evaluación de Riesgo de Activos Varados: Evaluación de vulnerabilidad de infraestructura a cambios de política e impactos climáticos físicos que afectan el valor del activo (Reserve Bank of Australia, 2021)

Implementación e Innovación

Integración a Nivel Estatal

Los gobiernos estatales han desarrollado herramientas de evaluación especializadas, incluyendo los Planes de Acción de Adaptación al Cambio Climático de Victoria y las Directrices de Evaluación de Riesgo Climático de Nueva Gales del Sur, que proporcionan metodologías estandarizadas para planificación de infraestructura local (State of Victoria,

2021; NSW Government, 2020).

Integración del Conocimiento Indígena

Australia incorpora Conocimiento Ecológico Tradicional de comunidades Aborígenes e Isleños del Estrecho de Torres en evaluaciones climáticas, particularmente para gestión de recursos naturales y proyectos de infraestructura costera (National Native Title Tribunal, 2021).

Plataformas de Evaluación Digital

El Servicio Climático Australiano proporciona información climática integrada y herramientas de evaluación de riesgo, mientras que la plataforma Climate Data Online permite acceso en tiempo real a proyecciones climáticas para planificación de infraestructura (Bureau of Meteorology, 2022).

Marco de SbN

Australia ha desarrollado criterios de evaluación para soluciones de infraestructura basadas en la naturaleza a través del Programa Nacional Landcare, incluyendo métricas para provisión de servicios ecosistémicos, conservación de biodiversidad y co-beneficios climáticos (Department of Agriculture, Water and the Environment, 2020).

Monitoreo del Rendimiento y Gestión Adaptativa

El Sistema Nacional de Monitoreo Climático rastrea el rendimiento climático de infraestructura a través de indicadores estandarizados, mientras que la Mesa Redonda de Resiliencia de Infraestructura facilita intercambio de conocimiento y mejora continua de metodologías de evaluación (Infrastructure Australia, 2022).

Desafíos y Variaciones Regionales

Los desafíos clave de implementación incluyen manejar incertidumbre en proyecciones de eventos extremos, coordinar entre jurisdicciones federales y estatales, y abordar la vasta diversidad geográfica y climática a través de Australia (Climate Council, 2021). El enfoque enfatiza la planificación de rutas adaptativas para manejar incertidumbre profunda y permitir respuestas flexibles a condiciones climáticas evolutivas (CSIRO, 2021).

Conclusión

La integración de Australia del cambio climático en evaluaciones de inversión pública refleja un enfoque comprensivo que equilibra objetivos de mitigación con necesidades críticas de adaptación. El modelo australiano enfatiza evaluación basada en riesgo, gestión adaptativa e integración del conocimiento indígena, proporcionando perspectivas valiosas para otros países que enfrentan riesgos climáticos diversos y estructuras de gobernanza federal (OECD, 2020).

Tabla A3-4.6: Ficha de análisis de Reino Unido. Fuente: Elaboración propia, 2025.

Ficha de análisis: Reino Unido

Marco de Política

La estrategia de integración climática de Inglaterra está anclada por la Ley de Cambio Climático 2008, la Estrategia Net Zero (2021) y el Programa Nacional de Adaptación (HM Government, 2021). El Green Book proporciona la orientación central para evaluación económica de proyectos del sector público, requiriendo consideraciones climáticas para todas las inversiones importantes en infraestructura (HM Treasury, 2022). La Autoridad de Infraestructura y Proyectos (IPA) exige evaluaciones de riesgo climático para proyectos que excedan £50 millones a través de la Estrategia de Construcción del Gobierno (Infrastructure and Projects Authority, 2021).

Enfoques Metodológicos

Marco de Evaluación de Riesgo Climático

Inglaterra emplea la metodología de Evaluación de Riesgo Climático del Reino Unido, actualizada cada cinco años bajo requisitos estatutarios, que evalúa vulnerabilidad de infraestructura utilizando Proyecciones Climáticas del Reino Unido (UKCP18) desarrolladas por la Oficina Meteorológica (Committee on Climate Change, 2021). Este marco incluye:

1. **Análisis de Peligros Climáticos:** Evaluación de cambios de temperatura, patrones de precipitación, aumento del nivel del mar y eventos meteorológicos extremos utilizando proyecciones climáticas probabilísticas (Met Office, 2020).
2. **Planificación de Adaptación Basada en Riesgo:** Evaluación de vulnerabilidad de infraestructura y capacidad adaptativa utilizando las directrices del Subcomité de Adaptación (Committee on Climate Change, 2020).

Mejora de Evaluación Económica

Los proyectos de infraestructura se someten a evaluación económica mejorada siguiendo la orientación suplementaria del Green Book que incorpora consideraciones climáticas (HM Treasury, 2021). Esto incluye:

- Precio de carbono utilizando Valores de Carbono BEIS a £241 por tonelada CO₂ equivalente para 2030
- Cuantificación de co-beneficios incluyendo calidad del aire, salud e impactos de biodiversidad
- Evaluación de beneficios de adaptación climática a través de metodología de daños evitados

Evaluación de Carbono de Ciclo de Vida Completo

Inglaterra exige evaluación de carbono de ciclo de vida completo para proyectos importantes de infraestructura utilizando estándares PAS 2080, que evalúan emisiones a través de fases de diseño, construcción, operación y fin de vida (BSI, 2020).

Indicadores y Métricas Específicos

Indicadores de Mitigación

- Alineación con Presupuesto de Carbono: Emisiones del proyecto evaluadas contra asignaciones de Presupuesto de Carbono, con infraestructura requerida para demostrar consistencia con ruta net-zero (Committee on Climate Change, 2022)
- Intensidad de Carbono Incorporado: Medida en kg CO₂ equivalente por unidad funcional utilizando Estándares Profesionales RICS para medición de carbono (RICS, 2021)
- Rendimiento de Carbono Operacional: Emisiones anuales de operación de infraestructura, comparadas contra estándares del Método de Evaluación Ambiental del Building Research Establishment (BREEAM) (BRE, 2020)
- Período de Recuperación de Carbono: Tiempo requerido para que reducciones de emisiones compensen emisiones relacionadas con construcción, típicamente apuntando a períodos de recuperación de 10-15 años (Construction Industry Research and Information Association, 2021)

Indicadores de Adaptación

- Puntuación de Riesgo Climático: Evaluación de vulnerabilidad compuesta utilizando metodología de Evaluación de Riesgo de Cambio Climático, incorporando exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa (Committee on Climate Change, 2021)
- Resiliencia de Estándar de Diseño: Integración de tolerancias de cambio climático en diseño de ingeniería siguiendo orientación de la Agencia Ambiental, incluyendo aumento del 20% en intensidad de lluvia pico (Environment Agency, 2021)

- Índice de Continuidad de Servicio: Rendimiento operacional esperado bajo varios escenarios climáticos durante vida de diseño de 60-100 años (Infrastructure and Projects Authority, 2020)
- Objetivo de Tiempo de Recuperación: Duración objetivo para restauración de servicio después de interrupciones relacionadas con clima, típicamente 24-72 horas para infraestructura crítica (Cabinet Office, 2021)

Indicadores Económicos

- Valor Presente Neto Ajustado al Clima: Cálculo tradicional de VPN mejorado con costos y beneficios climáticos utilizando metodología del Green Book (HM Treasury, 2022)
- Relación Beneficio-Costo con Factores Climáticos: Análisis económico incorporando daños climáticos evitados utilizando estimaciones de costo de daño de Stern Review (Stern, 2007; actualizado por Defra, 2021)
- Evaluación de Valor por Dinero: Marco de evaluación considerando co-beneficios climáticos y valor de resiliencia a largo plazo (Infrastructure and Projects Authority, 2021)
- Evaluación de Riesgo de Activos Varados: Evaluación de vulnerabilidad de infraestructura a riesgos de política y clima físico que afectan valor del activo (Bank of England, 2021)

Implementación e Innovación

Integración Sectorial

Inglaterra ha desarrollado orientación específica por sector a través de la Evaluación de Riesgo de Adaptación Climática de Highways England, la Estrategia de Adaptación al Cambio Climático de Network Rail y las Directrices de Resiliencia Climática de Ofwat para infraestructura de agua (Highways England, 2020; Network Rail, 2021; Ofwat, 2021).

Integración de Autoridades Locales

El Comité de Cambio Climático proporciona orientación para autoridades locales a través de los Planes de Acción Climática de Autoridades Locales, mientras que UK100 apoya integración climática municipal en planificación de infraestructura (UK100, 2021).

Herramientas de Evaluación Digital

Inglaterra utiliza el sistema de Reporte de Adaptación al Cambio Climático y el Servicio de Apoyo Climate Ready para proporcionar herramientas estandarizadas de evaluación de riesgo climático para planificación de infraestructura (Environment Agency, 2022).

Marco de SbN

El Plan Ambiental de 25 Años promueve soluciones de infraestructura basadas en la naturaleza con criterios de evaluación incluyendo métodos de Contabilidad de Capital Natural desarrollados por Natural England y la Oficina de Estadísticas Nacionales (Natural England, 2020; ONS, 2021).

Monitoreo del Rendimiento y Gobernanza

El Comité de Cambio Climático proporciona monitoreo independiente del rendimiento climático de infraestructura a través de Reportes de Progreso anuales al Parlamento, mientras que la Autoridad de Infraestructura y Proyectos rastrea entrega de proyectos contra objetivos climáticos (Committee on Climate Change, 2022; Infrastructure and Projects Authority, 2022).

Coordinación Regional y de Administraciones Descentralizadas

Inglaterra coordina con administraciones descentralizadas a través de la Evaluación de Riesgo de Cambio Climático del Reino Unido y el Comité Conjunto de Conservación de la Naturaleza, asegurando metodologías consistentes mientras permite adaptación regional (Joint Nature Conservation Committee, 2021).

Desafíos e Innovaciones

Los desafíos clave de implementación incluyen manejar la incertidumbre en las proyecciones

climáticas, integrar a través de múltiples departamentos gubernamentales y equilibrar costos a corto plazo con beneficios climáticos a largo plazo (National Audit Office, 2021). Inglaterra enfatiza enfoques de gestión adaptativa y metodologías de toma de decisiones bajo incertidumbre para abordar estos desafíos (Environment Agency, 2020).

Conclusión

La integración de Inglaterra del cambio climático en evaluaciones de inversión pública representa un marco maduro que combina requisitos estatutarios con orientación de implementación práctica. El modelo inglés enfatiza rigor económico, responsabilidad estatutaria y gestión adaptativa, proporcionando lecciones valiosas para otros países desarrollando marcos comprensivos de integración climática (OECD, 2021).

Tabla A3-4.7: Ficha de análisis de Estados Unidos. Fuente: Elaboración propia, 2025.

Ficha de análisis: Estados Unidos

Marco de Política

La estrategia de integración climática de EE.UU. está anclada por la Orden Ejecutiva 14008 sobre respuesta a crisis climática y la Orden Ejecutiva 13990 sobre integración de ciencia climática (White House, 2021). El Estándar Federal de Gestión de Riesgo de Inundación y la Orden Ejecutiva de Resiliencia Climática 14030 requieren consideraciones climáticas para todos los proyectos de infraestructura financiados federalmente (FEMA, 2021). La Oficina de Gestión y Presupuesto (OMB) proporciona orientación a través de la Circular A-4 para análisis de impacto regulatorio, mientras que el Consejo de Calidad Ambiental (CEQ) exige evaluaciones climáticas bajo la Ley Nacional de Política Ambiental (NEPA) (OMB, 2021; CEQ, 2021).

Enfoques Metodológicos

Marco Federal de Riesgo Climático

EE.UU. emplea un Marco Federal de Riesgo Climático desarrollado por el Programa de Investigación de Cambio Global de EE.UU., que evalúa vulnerabilidad de infraestructura utilizando proyecciones climáticas reducidas de la Evaluación Nacional del Clima (U.S. Global Change Research Program, 2018). Este marco incluye:

1. **Integración de Ciencia Climática:** Evaluación utilizando datos de Climate Explorer y Climate Resilience Toolkit, incorporando proyecciones de temperatura, precipitación, aumento del nivel del mar y eventos extremos (NOAA, 2021).
2. **Evaluación de Vulnerabilidad:** Evaluación de exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa de infraestructura siguiendo directrices de la Agencia Federal de Gestión de Emergencias (FEMA) (FEMA, 2020).

Mejora de Análisis Beneficio-Costo

Los proyectos federales de infraestructura se someten a análisis beneficio-costo mejorado siguiendo la Circular A-4 de OMB y orientación específica de agencias que incorporan consideraciones climáticas (OMB, 2021). Esto incluye:

- Costo social de gases de efecto invernadero utilizando valores del Grupo de Trabajo Interagencial: \$51 por tonelada métrica CO₂ (dólares 2020, tasa de descuento 3%)
- Cuantificación de co-beneficios incluyendo calidad del aire, salud y servicios ecosistémicos
- Evaluación de daños climáticos evitados utilizando metodología de Impactos del Cambio Climático de EPA

Evaluación de Impacto Ambiental

Los proyectos se someten a evaluación climática a través del proceso de revisión ambiental NEPA, mejorado por la Orientación Climática CEQ que requiere evaluación tanto de impactos del proyecto sobre el clima como de impactos climáticos sobre proyectos (CEQ, 2021).

Indicadores y Métricas Específicos

Indicadores de Mitigación

- Intensidad de Gases de Efecto Invernadero: Medida en toneladas métricas CO₂ equivalente por millón de dólares invertidos, siguiendo protocolos del Programa de Reporte de Gases de Efecto Invernadero de EPA (EPA, 2021)
- Evaluación de Carbono de Ciclo de Vida: Análisis de emisiones de cuna a tumba utilizando base de datos Federal LCA Commons y Directrices AASHTO para infraestructura de transporte (EPA, 2020; AASHTO, 2021)
- Tasa de Integración de Energía Limpia: Porcentaje de demanda energética del proyecto satisfecha a través de fuentes renovables, alineada con objetivos federales del Estándar de Electricidad Limpia (Department of Energy, 2021)
- Efectividad de Reducción de Carbono: Ahorros anuales de GEI por dólar invertido, comparados contra Curvas de Costo de EPA para medidas de reducción de emisiones (EPA, 2021)

Indicadores de Adaptación

- Índice de Riesgo Climático: Puntuación compuesta basada en metodología del Índice Nacional de Riesgo de FEMA incorporando exposición a peligros naturales y vulnerabilidad comunitaria (FEMA, 2021)
- Resiliencia de Estándar de Diseño: Integración de proyecciones climáticas en estándares de ingeniería siguiendo Directrices de Infraestructura Resiliente al Clima de ASCE (ASCE, 2018)
- Métrica de Confiabilidad de Servicio: Rendimiento operacional esperado bajo varios escenarios climáticos durante vida de diseño de 50-75 años utilizando Directrices de Resiliencia Climática de DOT (Department of Transportation, 2021)
- Índice de Tiempo de Recuperación: Duración esperada para restauración de servicio después de interrupciones relacionadas con clima, siguiendo métricas de infraestructura crítica de DHS (DHS, 2020)

Indicadores Económicos

- Valor Presente Neto Ajustado al Clima: VPN tradicional mejorado con costos y beneficios climáticos utilizando orientación de Tasa de Descuento de OMB (OMB, 2021)
- Relación Beneficio-Costo con Co-beneficios Climáticos: Análisis económico incorporando co-beneficios de salud, ambientales y productividad siguiendo Directrices de EPA (EPA, 2020)
- Valor de Daño Evitado: Beneficios monetizados de riesgos climáticos reducidos utilizando metodología de Economía de Adaptación Climática de NOAA (NOAA, 2019)
- Retorno de Inversión en Resiliencia: Valor económico de medidas de resiliencia de infraestructura expresado como relación beneficio-costo para inversiones en adaptación (FEMA, 2020)

Implementación e Innovación

Coordinación de Agencias Federales

El Consejo Federal de Mejora de Permisos de Infraestructura coordina integración climática entre agencias, mientras que el portal de Mapeo Climático para Resiliencia y Adaptación (CMRA) proporciona datos climáticos estandarizados para planificación de infraestructura (White House, 2021; NOAA, 2021).

Integración Estatal y Local

Los Programas Estatales de Resiliencia Climática y el programa BRIC (Building Resilient Infrastructure and Communities) de FEMA apoyan integración climática estatal y local en planificación de infraestructura (FEMA, 2021). El Desafío Regional de Resiliencia Climática promueve enfoques innovadores para infraestructura resiliente al clima.

Iniciativa Justice40

La Iniciativa Justice40 requiere que 40% de los beneficios de inversión climática federal fluyan a comunidades desfavorecidas, con métricas específicas de seguimiento para resultados de justicia ambiental en proyectos de infraestructura (White House, 2021).

Plataformas de Evaluación Digital

Climate Explorer y U.S. Climate Resilience Toolkit proporciona información climática integrada y herramientas de evaluación, mientras que la Ley de Inversión en Infraestructura y Empleos establece el Sistema Nacional de Información Climática (NOAA, 2021; Congress, 2021).

Monitoreo del Rendimiento y Responsabilidad

La Oficina de Responsabilidad Gubernamental (GAO) monitorea la integración climática federal a través de evaluaciones regulares, mientras que el Grupo de Trabajo Nacional sobre Clima coordina seguimiento de rendimiento entre agencias (GAO, 2021). El Plan Federal de Sostenibilidad establece objetivos específicos para el rendimiento climático en operaciones federales.

Aplicaciones Sectoriales

Diferentes sectores emplean enfoques especializados: el Departamento de Transporte utiliza Evaluaciones de Vulnerabilidad al Clima y Clima Extremo, el Cuerpo de Ingenieros del Ejército aplica principios de Ingeniería con la Naturaleza, y EPA implementa marcos de evaluación de Infraestructura Verde (DOT, 2021; USACE, 2021; EPA, 2021).

Desafíos y Variaciones Regionales

Los desafíos clave de implementación incluyen coordinar entre jurisdicciones federales, estatales y locales, manejar incertidumbre en proyecciones climáticas y abordar diversos riesgos climáticos regionales a través de Estados Unidos continental (GAO, 2021). El enfoque enfatiza gestión adaptativa y estrategias de diseño flexible para abordar incertidumbre profunda en proyecciones climáticas a largo plazo.

Conclusión

La integración de Estados Unidos del cambio climático en evaluaciones de inversión pública representa un marco federal comprensivo que equilibra objetivos climáticos nacionales con necesidades regionales de adaptación. El modelo estadounidense enfatiza rigor científico, análisis económico y consideraciones de justicia ambiental, proporcionando una base robusta para toma de decisiones de infraestructura informada por el clima a través de contextos geográficos e institucionales diversos (National Academy of Sciences, 2021).

Información complementaria de aproximación sectorial

Basado en el análisis comprensivo de marcos de integración climática en cinco países líderes, aquí se muestra cómo se integran específicamente las consideraciones de mitigación y adaptación al cambio climático en las evaluaciones de infraestructura de puentes, gestión fluvial y protección de borde costero.

PUENTES

Tabla A3-4.8: Información complementaria de aproximación climática para puentes. Fuente: Elaboración propia, 2025.

Reino Unido	
Enfoque de Adaptación	Enfoque de Mitigación
- Los diseños de puentes incorporan aumento del 20% en la intensidad máxima de lluvia para considerar las proyecciones de cambio climático - Las evaluaciones estructurales incluyen extremos de temperatura y ajustes de carga de viento basados en proyecciones climáticas UKCP18 - Objetivos de tiempo de recuperación de 24-72 horas para infraestructura crítica de puentes después de interrupciones climáticas - Integración de evaluaciones de riesgo de inundación usando orientación actualizada de la Agencia Ambiental para diseño hidráulico	- Evaluación de carbono de ciclo de vida completo obligatoria para puentes usando estándares PAS 2080, cubriendo fases de diseño, construcción, operación y fin de vida - Objetivos de período de recuperación de carbono de 10-15 años para reducciones de emisiones que compensen las emisiones de construcción - Uso de materiales bajos en carbono y métricas de intensidad de carbono incorporado (kg CO₂eq por unidad funcional) - Alineación con asignaciones nacionales de Presupuesto de Carbono para asegurar consistencia con la ruta net-zero

Estados Unidos	
Enfoque de Adaptación	Enfoque de Mitigación
- Las evaluaciones de puentes usan Directrices de Infraestructura Resiliente al Clima de ASCE incorporando proyecciones de temperatura, precipitación y clima extremo - Métricas de confiabilidad de servicio aseguran rendimiento operacional de 50-75 años bajo varios escenarios climáticos - Integración del Índice Nacional de Riesgo de FEMA para puntuación compuesta de riesgo climático - Estándares estructurales mejorados para cargas de clima extremo e impactos del aumento del nivel del mar	- Evaluación de carbono de ciclo de vida usando base de datos Federal LCA Commons para análisis comprensivo de emisiones - PSC a \$51 por tonelada métrica de CO₂ en evaluaciones económicas - Requisitos de integración de energía limpia alineados con el Estándar Federal de Electricidad Limpia - Métricas de intensidad de gases de efecto invernadero (toneladas métricas CO₂eq por millón de dólares invertidos)
Países Bajos	
Enfoque de Adaptación	Enfoque de Mitigación
- Los diseños de puentes incorporan análisis climático multi-escenario usando cuatro escenarios KNMI (calentamiento moderado a extremo) - Estándares de protección contra inundaciones expresados en períodos de retorno, actualizados cada seis años usando Condiciones Límite Hidráulicas - Índice de capacidad adaptativa midiendo la flexibilidad de infraestructura para futuros cambios climáticos - Optimización de diseño multi-funcional para gestión de inundaciones, recreación y biodiversidad	- Huella de carbono por unidad de infraestructura (toneladas CO₂eq por km) usando Base de Datos LCA Holandesa - Índice de material circular rastreando porcentaje de materiales reciclados y de base biológica - Referencia de costo-efectividad a €100 por tonelada CO₂ evitada - Integración de sistemas de energía renovable y medidas de eficiencia energética

Australia	
Enfoque de Adaptación	Enfoque de Mitigación
- Las evaluaciones de puentes usan herramienta Climate Compass para evaluación de exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa - Ajustes de estándares de diseño incorporando Estándares Australianos actualizados para cargas de clima extremo - Índice de resiliencia operacional asegurando disponibilidad de servicio durante vida de diseño del activo de 50-100 años - Variaciones regionales de riesgo climático abordadas a través de directrices de evaluación específicas por estado	- Referencia de intensidad de carbono (toneladas CO₂eq por millón AUD invertido) comparada con líneas base sectoriales - Tasas de integración de energía renovable alineadas con el Objetivo Nacional de Energía Renovable - Comparaciones de línea base del Mecanismo de Salvaguarda para potencial de reducción de emisiones - Coeficientes de carbono incorporado para materiales de construcción siguiendo estándares del Green Building Council
Canadá	
Enfoque de Adaptación	Enfoque de Mitigación
- Evaluación de Lente Climático obligatoria para proyectos de puentes sobre CAD \$10 millones - Índice de riesgo climático basado en evaluaciones de exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa - Ajustes de estándares de diseño incorporando factores de cambio climático en parámetros de ingeniería - Métricas de continuidad de servicio midiendo disponibilidad operacional esperada bajo escenarios climáticos	- Intensidad de emisiones GEI por unidad de capacidad o servicio de infraestructura - Análisis de período de recuperación de carbono para reducciones de emisiones versus emisiones de construcción - Evaluación de potencial de cambio modal para puentes de transporte reduciendo emisiones de vehículos privados - Seguimiento de mejoras de rendimiento energético e integración de energía renovable

GESTIÓN FLUVIAL

Tabla A3-4.9: Información complementaria de aproximación climática para gestión fluvial. Fuente: Elaboración propia, 2025.

Reino Unido	
Enfoque de Adaptación	Enfoque de Mitigación
- Estándares mejorados de protección contra inundaciones con aumento del 20% en intensidad máxima de precipitación incorporado en cálculos de diseño siguiendo tolerancias de cambio climático de la Agencia Ambiental - Ajustes de período de retorno para defensas contra inundaciones usando modelado hidrológico actualizado con proyecciones climáticas UKCP18 - Integración de gestión natural de inundaciones combinando ingeniería tradicional con enfoques basados en ecosistemas para gestión de cuencas aguas arriba - Gestión de corredores fluviales incorporando tolerancias de cambio climático para variaciones de flujo y eventos extremos durante períodos de diseño de 60-100 años	- Evaluación de carbono de ciclo de vida completo para infraestructura de inundaciones usando estándares PAS 2080, cubriendo materiales (concreto, acero) y energía operacional para sistemas de bombeo - Priorización de SbN con beneficios cuantificados de secuestro de carbono a través de Contabilidad de Capital Natural para bosques ribereños y humedales - Objetivos de intensidad de carbono incorporado para materiales de defensa contra inundaciones y estructuras de gestión fluvial
Estados Unidos	
Enfoque de Adaptación	Enfoque de Mitigación
- Estándar Federal de Gestión de Riesgo de Inundación requiriendo elevaciones de inundación ajustadas al clima y proyecciones mejoradas de precipitación para todos los proyectos de gestión fluvial financiados federalmente - Gestión fluvial multi-amenaza usando datos de Evaluación Nacional del Clima para inundaciones compuestas (fluviales + costeras) durante vida de diseño de infraestructura de 50-75 años - Principios de Ingeniería con la Naturaleza (Cuerpo de Ingenieros del Ejército) integrando gestión de inundaciones basada en ecosistemas y procesos naturales de canales fluviales	- Evaluación de carbono de ciclo de vida usando base de datos Federal LCA Commons para estructuras de control de inundaciones, diques y proyectos de canalización fluvial - PSC a \$51 por tonelada métrica de CO₂ en análisis beneficio-costos para inversiones en infraestructura fluvial - Priorización de infraestructura verde con co-beneficios cuantificados incluyendo secuestro de carbono, mejora de calidad del agua y restauración de hábitat

Países Bajos	
Enfoque de Adaptación	Enfoque de Mitigación
- Modelado de inundaciones multi-escenario usando cuatro escenarios climáticos KNMI para proyecciones de descarga fluvial y eventos de precipitación extrema - Gestión Adaptativa del Delta con sistemas flexibles de protección contra inundaciones diseñados para múltiples condiciones futuras de flujo fluvial - Estándares de protección contra inundaciones fluviales actualizados cada seis años usando Condiciones Límite Hidráulicas (períodos de retorno de 1:1,250 a 1:10,000 años)	- Huella de carbono por kilómetro de infraestructura de inundación fluvial usando Base de Datos LCA Holandesa para diques, barreras y modificaciones de canales - Requisitos de materiales circulares con objetivos para materiales reciclados y de base biológica en defensas contra inundaciones fluviales y estructuras hidráulicas - Priorización de SbN a través del Programa Building with Nature con beneficios cuantificados de carbono de restauración fluvial y reconexión de llanuras de inundación
Australia	
Enfoque de Adaptación	Enfoque de Mitigación
- Evaluación fluvial multi-amenaza incorporando interacciones incendio-inundación, ciclos sequía-inundación y combinaciones de clima extremo únicas a sistemas fluviales australianos - Evaluación con herramienta Climate Compass para exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa de infraestructura fluvial bajo patrones cambiantes de precipitación - Actualización de estándares de diseño usando Estándares Australianos para cargas de clima extremo, modelado de flujo fluvial y diseño de infraestructura de inundación	- Referencia de intensidad de carbono (toneladas CO₂eq por millón AUD invertido) para proyectos de control y gestión de inundaciones fluviales - Integración de energía renovable en infraestructura de gestión fluvial alineada con el Objetivo Nacional de Energía Renovable - Evaluación de SbN a través del Programa Nacional Landcare con cuantificación de servicios ecosistémicos para restauración ribereña y creación de humedales

Canadá	
Enfoque de Adaptación	Enfoque de Mitigación
• Evaluación de Lente Climático obligatoria para proyectos fluviales y de control de inundaciones sobre CAD \$10 millones • Evaluación de riesgo climático de cuenca fluvial usando modelado probabilístico y análisis de escenarios para patrones cambiantes de precipitación y deshielo • Ajustes de estándares de diseño incorporando factores de cambio climático en modelado de inundaciones, proyecciones de flujo fluvial y dimensionamiento de infraestructura	• Intensidad de emisiones GEI por unidad de capacidad de protección contra inundaciones o servicio de gestión fluvial proporcionado • Análisis de período de recuperación de carbono comparando soluciones de infraestructura fluvial verde versus tradicional • Seguimiento de rendimiento energético para instalaciones de gestión de inundaciones, sistemas de bombeo y estructuras de control fluvial

PROTECCIÓN DE BORDE COSTERO

Tabla A3-4.10: Información complementaria de aproximación climática para protección de borde costero. Fuente: Elaboración propia, 2025.

Reino Unido	
Enfoque de Adaptación	Enfoque de Mitigación
• Proyecciones mejoradas de aumento del nivel del mar incorporando escenarios climáticos UKCP18 con hasta 1.15m de aumento del nivel del mar para 2100 para diseño de infraestructura • Modelado de marejadas ciclónicas con aumento del 20% en intensidad de clima extremo y proyecciones mejoradas de altura de olas para diseño de defensa costera • Gestión costera adaptativa usando Planes de Gestión de Línea Costera con estrategias de defensa flexibles durante horizontes de planificación de 60-100 años	• Evaluación de carbono de ciclo de vida completo para infraestructura costera usando estándares PAS 2080, cubriendo materiales (concreto, armadura de roca, acero) y procesos de construcción • Priorización de soluciones costeras basadas en la naturaleza con beneficios cuantificados de secuestro de carbono a través de Contabilidad de Capital Natural para marismas, dunas y humedales costeros • Objetivos de intensidad de carbono incorporado para materiales de defensa costera y equipos de construcción marina

Estados Unidos	
Enfoque de Adaptación	Enfoque de Mitigación
- Estándar Federal de Gestión de Riesgo de Inundación requiriendo Elevaciones Base de Inundación ajustadas al clima y proyecciones mejoradas de aumento del nivel del mar para todos los proyectos costeros financiados federalmente - Evaluación costera multi-amenaza usando escenarios de aumento del nivel del mar de NOAA (0.3m a 2.5m para 2100) combinados con modelado de marejadas ciclónicas de huracanes durante vida de diseño de infraestructura de 50-75 años - Principios de Ingeniería con la Naturaleza (Cuerpo de Ingenieros del Ejército) integrando protección costera basada en ecosistemas y procesos naturales de línea costera	- Evaluación de carbono de ciclo de vida usando base de datos Federal LCA Commons para estructuras costeras, malecones, rompeolas y proyectos de alimentación de playas - PSC a \$51 por tonelada métrica de CO2 en análisis beneficio-coste para inversiones en infraestructura costera - Priorización de carbono azul con co-beneficios cuantificados incluyendo secuestro de carbono de humedales costeros, lechos de pastos marinos y restauración de manglares
Países Bajos	
Enfoque de Adaptación	Enfoque de Mitigación
- Modelado costero multi-escenario usando cuatro escenarios climáticos KNMI con proyecciones de aumento del nivel del mar (0.2m a 1.2m para 2100) y condiciones mejoradas de marejadas ciclónicas - Gestión Adaptativa del Delta con sistemas flexibles de protección costera diseñados para múltiples condiciones futuras de nivel del mar y tormentas - Estándares de protección contra inundaciones costeras actualizados cada seis años usando Condiciones Límite Hidráulicas (períodos de retorno de 1:4,000 a 1:10,000 años para áreas costeras)	- Huella de carbono por kilómetro de infraestructura costera usando Base de Datos LCA Holandesa para diques, barreras de marejadas ciclónicas y refuerzo costero - Requisitos de materiales circulares con objetivos para materiales reciclados y de base biológica en defensas costeras y construcción marina - Priorización de soluciones costeras basadas en la naturaleza a través del Programa Building with Nature con beneficios cuantificados de carbono de restauración de hábitat costero

Australia	
Enfoque de Adaptación	Enfoque de Mitigación
• Evaluación costera multi-amenaza incorporando aumento del nivel del mar (0.4m a 1.1m para 2100), ciclones tropicales, erosión costera e interacciones de olas de calor marinas • Evaluación con herramienta Climate Compass para exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa de infraestructura costera bajo condiciones oceánicas cambiantes • Actualización de estándares de diseño usando Estándares Australianos para cargas de clima extremo, acción de olas y diseño de ingeniería costera	• Referencia de intensidad de carbono (toneladas CO₂eq por millón AUD invertido) para proyectos de protección y gestión costera • Integración de energía renovable en infraestructura costera alineada con el Objetivo Nacional de Energía Renovable y desarrollo eólico marino • Evaluación de soluciones de carbono azul a través del Programa Nacional Landcare con cuantificación de servicios ecosistémicos para restauración de humedales costeros y conservación de pastos marinos
Canadá	
Enfoque de Adaptación	Enfoque de Mitigación
• Evaluación de Lente Climático obligatoria para proyectos de infraestructura costera sobre CAD \$10 millones • Evaluación de riesgo climático costero usando modelado probabilístico y análisis de escenarios para aumento del nivel del mar, marejadas ciclónicas y condiciones de hielo ártico • Ajustes de estándares de diseño incorporando factores de cambio climático en ingeniería costera, cálculos de carga de hielo y proyecciones de clima extremo	• Intensidad de emisiones GEI por unidad de capacidad de protección costera o longitud de línea costera protegida • Análisis de período de recuperación de carbono comparando defensas costeras duras versus soluciones costeras basadas en la naturaleza • Seguimiento de rendimiento energético para instalaciones costeras, sistemas de monitoreo y operaciones de infraestructura costera

Anexo 4-1 | Propuesta para taller participativo de revisión

Objetivo:

- Presentar los resultados y recibir retroalimentación de actores relevantes para mejorar los productos generados.

Asistentes:

- Se contó con 45 asistentes (Se detalla la lista completa en la siguiente página).
- Incluye profesionales MOP de direcciones involucradas, y de otros servicios públicos colaboradores como Ministerio del Medio Ambiente, Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Ministerio de Desarrollo Social y Familia, entre otros actores a definir con la contraparte del Ministerio.

Descripción:

- Incluye presentaciones que sintetizan la Fase 1 Diagnóstico y levantamiento de información y Fase 2 Desarrollo de diseño metodológico y herramienta de adaptación climática de la consultoría, para informar una conversación con respecto a los resultados con actores clave para la recepción de sus observaciones.
- Se implementa como un taller participativo estructurado con representantes invitados por el MOP.
- Primero incluye una presentación técnica de la síntesis de los principales resultados de la Fase 1 y 2, seguida de una sesión grupal de preguntas y respuestas, incluyendo a todos los asistentes.
- Segundo, una presentación técnica de la herramienta para la integración de la adaptación climática en la evaluación de proyectos de infraestructura (en las tres tipologías que considera el estudio). Seguida de sesiones de trabajo grupal por sectores/instituciones para análisis detallado.
- Se facilitan las dinámicas de las sesiones de trabajo grupal participativas con formularios estructurados para capturar observaciones específicas sobre cada tipología de proyecto evaluada, ajustes propuestos y recomendaciones de implementación.
- Las discusiones son moderadas por facilitadores designados, documentando los comentarios recibidos para garantizar registro completo de aportes.

Resultado Esperado:

Taller participativo exitoso con actores clave que genere retroalimentación técnica validada sobre la herramienta de adaptación. Sistematización de las discusiones con observaciones categorizadas por tipología de proyecto y/o institución para incorporación posterior.

Lista completa de participantes

#	Sector	Participante	Presencial	Virtual
1	BID	marianadel@iadb.org	1	
2	Consultora GeoAdaptive	bavila@geoadaptive.com	1	
3	Consultora GeoAdaptive	marrasate@geoadaptive.com	1	
4	Consultora GeoAdaptive	<u>mjcastrolarrain@gmail.com</u>	1	
5	Consultora GeoAdaptive	ssalas@geoadaptive.com		1
6	DGOP	Daniel Bifani	1	
7	DGOP	Evelyne Medel Vera (DGOP) <evelyne.medel@mop.gov.cl>;	1	
8	DGOP	Juan Pablo Vallejos	1	
9	DGOP	María Paola Orellana Peña (DGOP) <maria.orellana.p@mop.gov.cl>;	1	
10	DGOP	María Teresa Alarcón, maria.alarcon@mop.gov.cl	1	
11	DGOP	Mónica Baeza, monica.baeza@mop.gov.cl	1	
12	DIRPLAN	Carlos Olivares; carlos.olivares@mop.gov.cl		1
15	DIRPLAN	Haidy Blazevic Quiroz (DIRPLAN) <haidy.blazevic@mop.gov.cl>;		1
18	DOH	Eduardo Santibáñez Weidmann (DOH) <eduardo.santibanez@mop.gov.cl>;	1	
19	DOH	Marcia Agurto, marcia.agurto@mop.gov.cl	1	
22	DOH	Patricia Arenas Fredes (DOH) <patricia.arenas@mop.gov.cl>;	1	
25	DOH	Valentina Neira Parodi (DOH) <valentina.neira@mop.gov.cl>;	1	
27	DOP	Ariel Grandón Alvia (DOP) <ariel.grandon@mop.gov.cl>;		1
28	DOP	Cristian Riveros Zepeda (DOP) <cristian.riveros@mop.gov.cl>;		1
31	DOP	Patricio Osorio Candia (DOP) <patricio.osorio.c@mop.gov.cl>;		1
32	DOP	Ruth Pérez Pezoa (DOP) <ruth.perez@mop.gov.cl>		1
33	DV	Catalina Riquelme Reyes (Vialidad) <catalina.riquelme@mop.gov.cl>;	1	
34	DV	<u>Christian Vigouroux Steck</u> <u>christian.vigouroux.s@gmail.com</u>		1
36	DV	<u>Guido Nieto Catalán (Vialidad)</u> <u>guido.nieto@mop.gov.cl</u>	1	
39	DV	Pablo Ibáñez González (DV) <pablo.ibanez@mop.gov.cl>;		1
40	DV	Rodrigo Duarte Meza (Vialidad) <rodrigo.duarte@mop.gov.cl>;		1
41	DV	<u>Víctor Reyes González (Vialidad)</u> <u>victor.reyes.g@mop.gov.cl</u>	1	
43	MDSF	Carlos Orellana; corellana@desarrollosocial.gob.cl	1	

#	Sector	Participante	Presencial	Virtual
45	MDSF	Carlos Riquelme	1	
46	MDSF	Carolina Oviedo	1	
47	MDSF	Claudia Bravo; cbravog@desarrollosocial.cl	1	
48	MDSF	Orietta Valdés; oriettavaldes@desarrollosocial.gob.cl	1	
50	MINVU	asaldias@minvu.cl		1
52	MINVU	cnova@minvu.cl		1
54	MINVU	fgodoy@minvu.cl		1
56	MINVU	hintveen@minvu.cl		1
58	MINVU	jlarai@minvu.cl		1
61	MINVU	María Consuelo Navia	1	
62	MINVU	María Ester Arancibia, marancibiaf@minvu.cl		1
63	MINVU	mguerreroc@minvu.cl		1
65	MINVU	mnunezh@minvu.cl		1
66	MINVU	mrebolle@minvu.cl		1
68	MINVU	prodriguez@minvu.cl		1
70	MMA	Jessica Ulloa, JUlloa@mma.gob.cl		1
71	MMA	Johanna Arriagada, jarriagada@mma.gob.cl		1
	TOTAL	45	23	22

Agenda propuesta

MODULO I: Presentación general

- Introducción (15 minutos)

Presentación general de la consultoría, objetivos del taller, asistentes

(Lideran: MOP / BID)

- Presentación (30 minutos)

Presentación técnica de los resultados de la Fase 1 y 2 de la consultoría, focalizada en adaptación climática. (Lidera: GA)

- Preguntas y respuestas (15 minutos)

Preguntas por parte de los asistentes. El equipo consultor responde a las preguntas planteadas. (Lidera: GA)

MÓDULO II: Presentación herramienta

- Herramienta de Adaptación (20 minutos)

Presentación técnica de la herramienta de adaptación climática.

(Lidera: GA)

- Mesas de trabajo (40 minutos)

Se dividen los asistentes en mesas de trabajo de aproximadamente 10 participantes (por tipología de proyecto o institución) con un facilitador designado por mesa. Cada mesa recibe un formulario estructurado para guiar la conversación y capturar observaciones específicas.

Diagrama de síntesis de agenda propuesta



Mesas de trabajo

Se dividen los asistentes en 4 mesas temáticas:

Mesa 1 Evaluación social de proyectos	Mesa 2 Control Aluvional	Mesa 3 Protección borde costero	Mesa 4 Vialidad - Puentes
--	------------------------------------	--	-------------------------------------

Ministerio de Desarrollo Social y de Familia (MDSF) Multisectorial Dirección General de Obras Públicas (DGOP)	Dirección de Obras Hidráulicas (DOH) / Ministerio de Medio Ambiente (MMA)	Dirección de Obras Portuarias (DOP) / Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU)	Dirección de Vialidad (DV) / Especialistas vialidad de MDSF
---	---	--	---

Formulario estructurado según mesa de trabajo

Los formularios consolidan un conjunto de 8 preguntas direccionadas para cada mesa de trabajo, según su temática. Las preguntas están organizadas considerando los tres elementos que componen la herramienta: (i) Árbol de decisión; (ii) Beneficios sociales; (iii) Evaluación climática. Esta estructura facilita la integración de ajustes a la herramienta posteriormente al desarrollo del taller.

MESA 1: EVALUACIÓN SOCIAL DE PROYECTOS

Árbol de decisión Diagrama de integración de la herramienta	1. Sobre la propuesta de integración de la metodología como módulo complementario, ¿le parece apropiada esta aproximación?
	2. La infraestructura resiliente implica una robustez y mayor tiempo de vida útil, por lo que se sugiere la ampliación del horizonte de evaluación. ¿Tiene algún comentario en relación a la temporalidad definida como horizonte de evaluación y vida útil del proyecto considerando la resiliencia climática? O en su defecto ¿Considera que el valor residual del proyecto puede absorber la continuidad beneficios aportados con una vida útil operacional mayor al periodo de evaluación?
Beneficios sociales Estimación de beneficios adicionales cuantificables por adaptación climática	3. La herramienta entrega sugerencias de medidas y valores - más allá del criterio del evaluador - y se sistematiza su integración a la evaluación. ¿Tiene sugerencias de parámetros específicos o fuentes de información a utilizar?
	4. Cuáles son las herramientas que son o que podrían ser utilizadas para definir población afectada con criterios climáticos - Afectación de redes (ejemplo. Red sanitaria / redundancia - Red vial crítica)
	5. ¿Considera que la adaptación climática en las tipologías de proyecto evaluados implica costos adicionales? ¿Tiene una estimación o ejemplos al respecto?
Evaluación climática Fórmula que integra beneficios climáticos, costos	6. La Tasa de descuento utilizada es de 5.5% considerando una proyección de mediano plazo. Se sugiere una tasa de descuento decreciente, que refleje consideraciones de impacto ambiental y de largo plazo. ¿Es este un concepto relevante a integrar progresivamente?

adicionales y tasa ajustada por riesgo	7. ¿Se propone un ajuste a esta tasa - mayor exigencia - al comparar alternativas para considerar la incertidumbre climática y la cuantificación de mayores beneficios. Tomando en cuenta la incertidumbre climática, consideran adecuado la propuesta de un TIR o relación B/C más exigente?
Otros	8. Tienen comentarios adicionales que les gustaría fueran considerados

MESA 2: CONTROL ALUVIONAL

Arbol de decisión Diagrama del proceso de decisión para la evaluación del proyecto	1. La herramienta está diseñada para ser aplicada durante la fase de preinversión, en que etapa específica de desarrollo del proyecto debería ser aplicada? (considerando la información disponible)
	2. Pueden identificar herramientas climáticas que son consideradas como insumos durante la evaluación de proyectos para integrar la adaptación climática tempranamente? (ARCLIM - Modelaciones, otros)
Beneficios sociales Estimación de beneficios adicionales cuantificables por adaptación climática	3. Qué fuentes de información utiliza para calcular beneficios en relación al proyecto evaluado. Por ejemplo: Evacuación y mantención de familias afectadas por inundaciones
	4. ¿Considera que los beneficios adicionales propuestos son adecuados? ¿hay otros que deberían ser considerados? (BDI: Beneficio por Daños de Inundación Evitados; BCC: Beneficio por Continuidad de Conectividad; BCS: Beneficio por Continuidad de Servicios)
	5. ¿Considera que la adaptación climática en la tipología de proyecto evaluada implica costos adicionales? ¿Tiene una estimación o ejemplo al respecto? (Costos adicionales: CAA: Costo Adicional de Adaptación)
Evaluación climática Fórmula que integra beneficios climáticos, costos adicionales y tasa ajustada por riesgo	6. ¿Tiene comentarios o ajustes con respecto a los parámetros propuestos para valorizar los beneficios adicionales de acuerdo con los escenarios climáticos? (Moderado - Severo)
	7. ¿Le parece pertinente utilizar una Tasa de descuento de adaptación climática ajustada para la evaluación de los proyectos? (r_ajustada: Tasa de descuento ajustada por riesgo climático)
Otros	8. Tienen comentarios adicionales que les gustaría fueran considerados

MESA 3: PROTECCIÓN DE BORDE COSTERO

Arbol de decisión Diagrama del proceso de decisión para la evaluación del proyecto	1. La herramienta está diseñada para ser aplicada durante la fase de preinversión, en que etapa específica de desarrollo del proyecto debería ser aplicada? (considerando la información disponible)
	2. Pueden identificar herramientas climáticas que son consideradas como insumos durante la evaluación de proyectos para integrar la adaptación climática tempranamente? (ARCLIM - Modelaciones, otros)
Beneficios sociales Estimación de beneficios adicionales cuantificables por adaptación climática	3. Qué fuentes de información utiliza para calcular beneficios en relación al proyecto evaluado. Por ejemplo: Evacuación y mantención de familias afectadas por inundaciones
	4. ¿Considera que los beneficios adicionales propuestos son adecuados? ¿hay otros que deberían ser considerados? (BPA: Beneficio por Protección de Activos; BTM: Beneficio por Turismo Mantenido; BCC: Beneficio por Continuidad de Conectividad)
	5. ¿Considera que la adaptación climática en la tipología de proyecto evaluada implica costos adicionales? ¿Tiene una estimación o ejemplo al respecto? (Costos adicionales: CAA: Costo Adicional de Adaptación)
Evaluación climática Fórmula que integra beneficios climáticos, costos adicionales y tasa ajustada por riesgo	6. ¿Tiene comentarios o ajustes con respecto a los parámetros propuestos para valorizar los beneficios adicionales de acuerdo con los escenarios climáticos? (Moderado - Severo)
	7. ¿Le parece pertinente utilizar una Tasa de descuento de adaptación climática ajustada para la evaluación de los proyectos? (r_ajustada: Tasa de descuento ajustada por riesgo climático)
Otros	8. Tienen comentarios adicionales que les gustaría fueran considerados

MESA 4: VIALIDAD - PUENTES

Arbol de decisión Diagrama del proceso de decisión para la evaluación del proyecto	1. La herramienta está diseñada para ser aplicada durante la fase de preinversión, en que etapa específica de desarrollo del proyecto debería ser aplicada? (considerando la información disponible)
	2. Pueden identificar herramientas climáticas que son consideradas como insumos durante la evaluación de proyectos para integrar la adaptación climática tempranamente? (ARCLIM - Modelaciones, otros)
Beneficios sociales Estimación de beneficios adicionales cuantificables por	3. Qué fuentes de información utiliza para calcular beneficios en relación al proyecto evaluado. Por ejemplo: aforo vehicular.
	4. ¿Considera que los beneficios adicionales propuestos son adecuados? ¿hay otros que deberían ser considerados? (BCC: Beneficio por Continuidad de Conectividad; BRT: Beneficio por

adaptación climática	Reducción de Tiempo de Recuperación; BRV: Beneficio por Redundancia vial)
	5. ¿Considera que la adaptación climática en la tipología de proyecto evaluada implica costos adicionales? ¿Tiene una estimación o ejemplo al respecto? (Costos adicionales: CAA: Costo Adicional de Adaptación)
Evaluación climática Fórmula que integra beneficios climáticos, costos adicionales y tasa ajustada por riesgo	6. ¿Tiene comentarios o ajustes con respecto a los parámetros propuestos para valorizar los beneficios adicionales de acuerdo con los escenarios climáticos? (Moderado - Severo)
	7. ¿Le parece pertinente utilizar una Tasa de descuento de adaptación climática ajustada para la evaluación de los proyectos? (r_ajustada: Tasa de descuento ajustada por riesgo climático)
Otros	8. Tienen comentarios adicionales que les gustaría fueran considerados

Anexo 4-2 | Aplicación de la herramienta

Marco general

Conceptos clave

Los siguientes conceptos guían la evaluación de adaptación, traducéndose a variables de diseño y decisión por tipología.

- **Escenarios climáticos:** SSP2-4.5 (moderado) y SSP5-8.5 (severo) definen intensificación hidrometeorológica, ascenso del nivel del mar, oleaje y viento. Se traducen a parámetros de diseño por tipología y horizonte, con umbrales operativos.
- **Beneficios BSAC:** incluyen DAE evitado, continuidad de servicio y conectividad (horas/días y costos evitados), redundancia y reducción de tiempos de recuperación y co-beneficios (turismo mantenido, protección de activos costeros), evitando doble conteo.
- **Costos adicionales de adaptación (CAA):** reflejan CAPEX/OPEX incremental del diseño resiliente, con rangos por tipología y escenario.
- **Parámetros económicos:** tasas de descuento ajustadas para beneficios climáticos (tasas decrecientes) con el objetivo de capturar los beneficios intergeneracionales y análisis de sensibilidad para decisión con VAN/TIR/B/C por escenario.

Pasos generales

Para la aplicación de la herramienta se siguen una serie de pasos alineados con el diseño conceptual que le dió origen (Figura A4-2.1). Estos incluyen:



Figura A4-2.1. Diagrama de pasos generales. Fuente: Elaboración propia, 2025.

Etapas del ciclo de vida

Se recomienda la aplicación de la herramienta tempranamente en el ciclo de vida de un proyecto, Fase Preinversión, en cualquiera de sus etapas, dependiendo del tipo de proyecto y la información disponible para la estimación de costos y beneficios (Figura A4-2.2).

FASES	ETAPAS	
Preinversión	Perfil	En el estado de preinversión , se prepara y evalúa el proyecto con el fin de determinar si es conveniente llegar a ejecutarlo
	Prefactibilidad	
	Factibilidad	
Inversión	Diseño	En el estado de inversión se realizan los diseños y se ejecutan las obras necesarias.
	Ejecución	
Operación	Puesta en marcha	En la etapa de operación , una vez que las obras han sido terminadas, es posible identificar la puesta en marcha o marcha blanca, seguida de la operación normal.
	Operación en régimen	

Un proyecto de inversión no necesariamente pasa por todas y cada una de las etapas del estado de preinversión; esto dependerá de la complejidad y de los montos involucrados por el proyecto a ejecutar.

Figura A4-2.2. Etapas del ciclo de vida. Fuente: Elaboración propia, 2025.

La aplicación de la herramienta en preinversión es la decisión más costo-efectiva del ciclo de vida, debido a que es cuando aún puede elegirse entre alternativas, ajustar parámetros de diseño y asignar riesgos con el menor costo de cambio. En esta fase es posible traducir escenarios climáticos (SSP2-4.5 y SSP5-8.5) en parámetros de diseño y efectos operativos (DAE, interrupciones, tiempos de recuperación), valorar beneficios resilientes y explicitar los sobrecostos de adaptación (CAA). El resultado busca una comparación transparente entre diseños “convencionales” y “resilientes”, una priorización más justa en territorios críticos y una trazabilidad que facilita la elegibilidad SNI y el acceso a financiamiento climático.

Entre los pros destacan: mayor capacidad de influir en el diseño, reducción del riesgo de “obras obsoletas” ante escenarios severos. Entre los retos: brechas de datos, necesidad de parámetros estandarizados para interrupciones y daños evitados, riesgo de doble conteo en la valoración, necesidad de una alta coordinación interinstitucional y la definición de responsabilidades claras.

Ajustes propuestos

La aplicación de una tasa de descuento diferenciada para el cálculo de beneficios de adaptación climática menor que la TSD actual implica valores del VAN mayores facilitando la rentabilidad de los proyectos. Sin embargo se debe considerar las implicaciones de adicionar beneficios climáticos con beneficios ordinarios utilizando diferentes TSD, lo que puede complejizar el cálculo. Adicionalmente para tomar la decisión del uso de esta tasa diferenciada se requiere de mesas de trabajo de expertos en la materia de los diferentes sectores para considerar sus pros y contras (Figura A4-2.3).

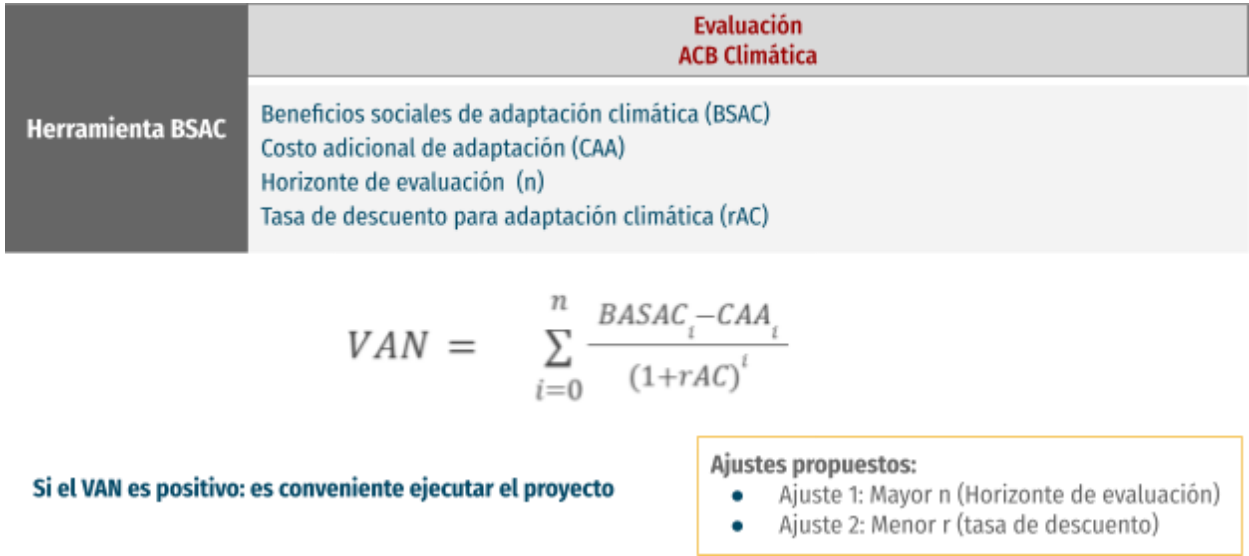


Figura A4-2.3. Integración de la herramienta BSAC a la evaluación social. Fuente: Elaboración propia, 2025.

De forma similar, se recomienda avanzar sobre una Tasa Social de Descuento (TSD) intergeneracional decreciente a largo plazo (MDSF, 2024) que puede ser útil para capturar los beneficios sociales de proyectos con una vida útil prolongada, por ejemplo, al considerar infraestructura más resiliente a los efectos del cambio climático. Otra forma para capturar estos beneficios sería que sean cuidadosamente considerados a través del valor residual al final del periodo de evaluación para evitar su subestimación.

Tabla A4-2.1. Vida útil y horizontes de evaluación. Fuente: Elaboración propia, 2025. Con base en revisión bibliográfica.

Tipología	Vida útil (Tradicional)	Vida útil con CC	Horizontes evaluación
Puentes	75 años	100 años	Metodología de formulación y evaluación de proyectos de transporte interurbano - 20 años
Control aluvional	50 años	75 años	Metodología de preparación y evaluación de proyectos de defensas fluviales - 30 años
Protección de borde costero	50 años	75 años	No hay metodología específica

Fundamentos técnicos para el uso de tasas diferenciadas en la evaluación de proyectos climáticos

1. Horizonte temporal extendido y equidad intergeneracional: La infraestructura resiliente genera beneficios que se extienden 75-100 años, muy superior al horizonte estándar de evaluación (20-30 años). La TSD estándar de 5.5%, calibrada para proyectos de mediano plazo, descuenta excesivamente beneficios futuros, subestimando sistemáticamente el valor social de inversiones que protegen a generaciones futuras. El Informe Stern (2006) y el trabajo de Weitzman (2001) sobre tasas decrecientes demuestran que para horizontes multigeneracionales, tasas menores reflejan mejor las preferencias sociales de equidad intergeneracional.

2. Naturaleza de los beneficios climáticos (daños catastróficos evitados): Los beneficios de adaptación no representan ganancias de productividad marginal, sino prevención de pérdidas catastróficas de activos y vidas humanas. La teoría económica del riesgo catastrófico (Arrow & Lind, 1970; Gollier, 2012) establece que eventos de baja probabilidad y alto impacto requieren tasas de descuento menores, ya que el costo social de la inacción crece exponencialmente con el tiempo bajo escenarios climáticos severos. Los beneficios climáticos evitan la destrucción irreversible de capital público, no compiten directamente con inversiones productivas alternativas.

3. Incertidumbre profunda y aversión al riesgo climático: Bajo incertidumbre profunda sobre escenarios climáticos futuros (SSP2-4.5 vs. SSP5-8.5), la regla de Ramsey modificada sugiere tasas menores cuando existe incertidumbre sobre tasas de crecimiento futuras (Gollier, 2002). La evidencia empírica del IPCC AR6 muestra que la incertidumbre climática aumenta con el horizonte temporal, lo que justifica tasas decrecientes por escenario. Países como Reino Unido (HM Treasury Green Book, 2022), Países Bajos (Delta Programme) y Francia aplican tasas diferenciadas (1.5-3.5%) para proyectos climáticos de largo plazo.

4. Separabilidad de flujos según naturaleza económica: La propuesta no implica "dos costos de oportunidad" sino el reconocimiento de que los beneficios climáticos incrementales (BSAC) tienen naturaleza económica distinta a los beneficios operacionales tradicionales. Los beneficios tradicionales (reducción de tiempos de viaje, costos operacionales) se descuentan a TSD estándar (5.5%); únicamente el delta de beneficios atribuible a medidas de adaptación climática (diferencia entre diseño resiliente vs. diseño convencional) se descuenta a tasa ajustada, reflejando su horizonte extendido y su función de protección intergeneracional.

Comparación internacional:

- Reino Unido: Tasa decreciente 3.5% (0-30 años) → 3.0% (31-75 años) → 2.5% (76-125 años) para proyectos con impactos intergeneracionales
- Francia: Tasa de 4.5% estándar, reducida a 2.5% para horizontes >30 años en proyectos ambientales
- Países Bajos: Tasa de 3.0% para proyectos de protección contra inundaciones (vs. 5.5% estándar)
- Noruega: Tasa de 4.0% estándar, reducida a 2.0% para proyectos climáticos de largo plazo

Propuesta de validación conjunta:

Reconociendo la relevancia técnica de esta discusión, se propone establecer una mesa de trabajo técnica MOP-MDSF específica sobre "Tasas de descuento para proyectos de infraestructura resiliente" que: (i) revise evidencia internacional y fundamentos teóricos; (ii) analice resultados comparados de evaluación con tasa única vs. diferenciada en los casos piloto; (iii) evalúe implicancias para priorización de cartera de proyectos; y (iv) formule recomendación técnica consensuada para eventual actualización del marco metodológico del SNI, considerando la actualización del documento MDSF "Estimación de la Tasa Social de Descuento en el Largo Plazo" (2014) para incorporar explícitamente proyectos de adaptación climática.

Puntos técnicos clave:

- Tasas diferenciadas reflejan horizonte extendido y equidad intergeneracional (Stern, Weitzman)
- Beneficios climáticos previenen daños catastróficos, no compiten directamente con inversiones productivas
- Práctica internacional consolidada (UK, Francia, Países Bajos, Noruega) aplica tasas menores para proyectos climáticos
- Propuesta de mesa técnica MOP-MDSF para validación metodológica consensuada

Acciones implementadas:

Se mantiene la formulación metodológica con tasas diferenciadas, incorporando justificación técnica basada en literatura económica y práctica internacional. Se propone en el Plan de Acción ([Sección 4-4](#)) la creación de una "Mesa Técnica sobre Tasas de Descuento para Infraestructura Resiliente" con participación de economistas expertos de MOP, MDSF y academia, para revisar evidencia y formular recomendación consensuada. Se incluye análisis de sensibilidad en casos piloto que muestra resultados con ambos enfoques (tasa única vs. diferenciada) para informar decisión técnica basada en evidencia.

Comparación con beneficios existentes

Actualmente la evaluación social de proyectos viales considera el **Beneficio por Ahorro de Tiempo de Viaje (BATV)**, el cual se desprende de la comparación entre los consumos de tiempo para movilizarse entre los pares origen-destino de análisis, en las situaciones con y sin proyecto, durante el horizonte de evaluación.

Los beneficios propuestos en la herramienta BSAC no están enfocados en contabilizar el ahorro del tiempo de viaje habitual, sino en valorizar atributos adicionales de resiliencia climática que no son capturados por la metodología tradicional:

- **Beneficio por Continuidad de Conectividad (BCC):** Cuantifica el valor de mantener el acceso constante a la infraestructura vial sin interrupciones ocasionadas por eventos climáticos extremos que pueden dejar intransitable la ruta por períodos variables según la magnitud de los daños. Este beneficio captura la capacidad del diseño resiliente de sostener la circulación (o reducir significativamente sus interrupciones) frente a amenazas climáticas.
- **Beneficio por Redundancia Vial (BRV):** Valora el flujo vehicular que puede ser absorbido desde otras rutas afectadas por interrupciones climáticas, cuantificando el valor económico de disponer de rutas alternativas funcionales. Este beneficio reduce la exposición de la red a cierres del enlace analizado y se materializa como la capacidad de sostener la conectividad regional incluso cuando el enlace principal falle, disminuyendo las pérdidas económicas y sociales asociadas a las interrupciones.

Diferencias clave

- BATV: desempeño cotidiano (promedios de operación normal).
- BCC: desempeño bajo choque climático (cierres del propio enlace) — continuidad del tramo.
- BRV: desempeño de la red bajo choque climático (capacidad de respaldo y transferencia de demanda).

Para evitar doble conteo

- Estimar BATV solo para condiciones normales (sin cierres por eventos climáticos).
- Valorar BCC y BRV exclusivamente con efectos de cierres/interrupciones por eventos climáticos.
- Nunca computar el mismo día/hora de interrupción en BCC y BRV.
- Documentación de supuestos para cálculo de beneficios: umbrales de cierre, tiempos de recuperación, capacidad de la alternativa, aforos vehiculares, intensificación climática, etc.

En resumen los beneficios son complementarios y deben separarse en condiciones normales y eventos climáticos. El BCC y el BRV son incrementales al BATV, ya que valorizan dimensiones distintas: mientras el BATV mide eficiencia operativa en condiciones normales, el BCC y el BRV miden resiliencia operativa bajo condiciones de estrés climático.

Análisis por tipología

Árbol de decisión general

Si bien cada tipología cuenta con su propio árbol de decisión, la estructura sigue el mismo patrón, donde para acceder a los beneficios y costos adicionales por adaptación se debe cumplir con requisitos de diseño y medidas de adaptación para los escenarios moderado y/o severo (Figura A4-2.4).

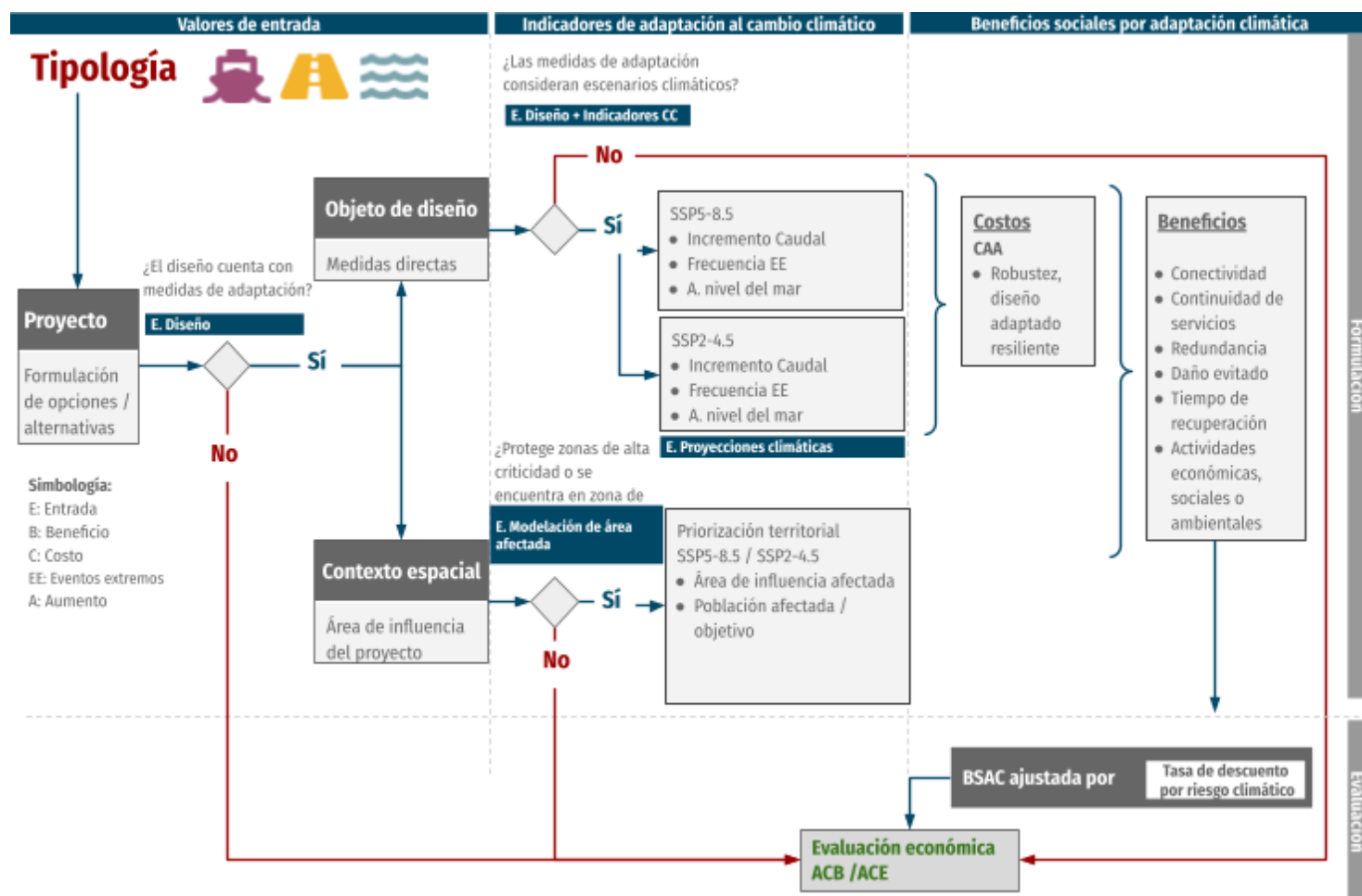


Figura A4-2.4. Árbol de decisión general. Fuente: Elaboración propia, 2025.

Puentes

El Puente Los Vientos (Ruta CH-115) conecta dos pequeñas comunidades a lo largo de los ríos Maule y Claro con la Carretera San Clemente-Paso Pehuenche. El puente fue cerrado en 2023 por riesgo de colapso después de que fuertes crecidas en el río Claro causarían que se abriera una grieta de 10 pulgadas en el medio del puente. El DV evaluó la estabilidad de la llanura de inundación, modeló los caudales máximos del río bajo escenarios climáticos futuros, y evaluó los costos sociales y económicos a través de impactos en el tráfico para 4 alternativas de diseño de puente para evaluar la reconstrucción de un puente en la misma ubicación.

Generalidades

El caso del Puente Los Vientos se enmarca en un estudio de factibilidad mandado por el Ministerio de Obras Públicas de Chile, a través de la Dirección de Vialidad, para la reposición de la estructura en la Ruta ZK-426, comuna de San Clemente (Región del Maule). El contrato define un alcance integral que incluye diagnóstico y levantamientos topográficos, hidrológicos e hidráulicos, geotecnia, tránsito y seguridad vial, evaluación ambiental y social con participación ciudadana, análisis de alternativas y su evaluación técnico-económica, así como la elaboración de un anteproyecto y plan de gestión de riesgos. El proceso se rige por bases administrativas y términos de referencia que establecen criterios de evaluación, entregables por etapas y requisitos de calidad, seguridad y gestión, a fin de seleccionar la alternativa de reemplazo más conveniente desde el punto de vista técnico, económico y social para la zona de influencia del proyecto (Figura A4-2.5).



Figura A4-2.5. Caso 1. Reposición Puente Los Vientos en Ruta ZK-426. Fuente: Elaboración propia, 2025.

Protección costera

Las defensas costeras en Avenida Perú y Paseo Juan de Saavedra protegen las carreteras adyacentes y áreas recreativas de las inundaciones por marejadas. Están construidas con roca, material de relleno y tetrápodos (estructuras de concreto prefabricadas). El estudio del MOP modeló y evaluó mecánicamente diseños alternativos, incluyendo SbN (playa artificial), para escenarios climáticos futuros dado que la efectividad del diseño actual ha disminuido, y se han producido daños desde 2015.

Generalidades

Las defensas costeras se abordaron mediante un proceso escalonado que integra: recopilación de antecedentes y topobatimetría; caracterización del clima de oleaje y niveles de marea; modelación numérica de propagación para establecer condiciones de diseño y su transferencia costa adentro; y verificación mediante modelación física del sobrepaso, la estabilidad del manto y el desempeño frente a combinaciones de alturas y periodos de ola y estados de marea, considerando escenarios de cambio climático. Se evaluaron alternativas con escollera optimizada y unidades prefabricadas (Tetrapods, Cubipods, Dolos), además de opciones híbridas como una playa artificial, comparando reducción de sobrepaso, daños, constructibilidad y costos del ciclo de vida. Los resultados evidencian que configuraciones optimizadas y con unidades tipo Dolos/Alternativa 3 alcanzan disminuciones significativas de sobrepaso y daños, mientras que la solución de playa artificial requiere estrategias de retención y gestión de sedimentos (Figura A4-2.6).



Figura A4-2.6. Caso 2. Diseño conservación defensas costeras sectores Avenida Perú y Juan de Saavedra.

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Control aluvional

El proyecto en Quebrada Bonilla, entre Antofagasta y La Chimba, instaló muros reductores de pendiente, piscinas de sedimentación y canales colectores para controlar los flujos aluviales de dos ramas del Estero Bonilla. El estero es un cauce estacional que deposita escombros y sedimentos a través de flujos de lodo de la Cordillera de la Costa cada vez que hay eventos de precipitación importantes en la región que de otro modo es árida. En 2015, más de 6.000 edificios en el área resultaron críticamente dañados por lodo espeso, rocas y escombros (NASA Earth Observatory, 2015). Este proyecto de infraestructura protege directamente a 12,840 personas que viven en la zona de evacuación inmediatamente del Estero Bonilla.

Generalidades

El caso se abordó mediante una evaluación hidrológica y de riesgo multiescenario que incorporó proyecciones climáticas severas. La evaluación económica utilizó 12 beneficios sociales (continuidad de servicios esenciales, accesibilidad y costos evitados, entre otros) y se apoyó en un proceso participativo con enfoque de género. A nivel de gobernanza, el proyecto se articuló con instrumentos territoriales —incluido el Plan Maestro de Aguas Lluvias de Antofagasta— e identificó nodos críticos (como infraestructura sanitaria) para priorizar medidas. Si bien se describieron acciones de mantenimiento y monitoreo, se detectaron oportunidades de mejora en la asignación de responsabilidades y en el enfoque de manejo adaptativo de cuenca, así como en la integración de co-beneficios ambientales y métricas de mitigación (Figura A4-2.7).



Figura A4-2.7. Caso 3. Obras de Control Aluvional en Quebrada Bonilla. Fuente: Elaboración propia, 2025.

Tablas de componentes de beneficios sociales propuestos

Tabla A4-2.2: Componentes de Beneficios Sociales Propuestos para Puentes. Fuente: Elaboración propia, 2025.

BCC	Beneficio por Continuidad de Conectividad		
Fórmula	$\text{Días_interrupción_evitados} \times \text{Flujo_vehicular_diario} \times \text{Valor_tiempo_promedio} \times \text{Factor_escenario}$		
Parámetros	Escenario 4.5	Escenario 8.5	Fuente
Factor por escenario	1.5	3.0	NCHRP, (2014)
Días de interrupción base	2-5 días/año	5-12 días/año	Infrastructure Canada (2021); DOT (2021)
Valor de tiempo promedio	\$15-25 USD/hora	\$15-25 USD/hora	US DOT, (2023)
BRT	Beneficio por Reducción de Tiempo de Recuperación		
Fórmula	$\text{Tiempo_recuperación_reducido} \times \text{Costo_económico_interrupción} \times \text{Frecuencia_eventos}$		
Parámetros	Escenario 4.5	Escenario 8.5	Fuente
Tiempo de recuperación reducido	24-48 horas	48-72 horas	Cabinet Office (2021); Emergency Management Australia (2021)
Costo económico de interrupción	\$50,000-200,000/día	\$100,000-500,000/día	Infrastructure Australia (2021)
Frecuencia de eventos	1:10 años	1:5 años	TANDF, (2019)
BRV	Beneficio por Redundancia vial		
Fórmula	$\text{Días_interrupción_evitados} \times \text{Flujo_vehicular_diario (de ruta a la que da redundancia)} \times \text{Valor_tiempo_promedio} \times \text{Factor_escenario}$		
Parámetros	Escenario 4.5	Escenario 8.5	Fuente
Factor por escenario	1.5	3.0	NCHRP, (2014)
Días de interrupción base	2-5 días/año	5-12 días/año	Infrastructure Canada (2021); DOT (2021)
Valor de tiempo promedio	\$15-25 USD/hora	\$15-25 USD/hora	US DOT, (2023)

Tabla A4-2.3: Componentes de Beneficios Sociales Propuestos para Protección Costera. Fuente: Elaboración propia, 2025.

BPA	Beneficio por Protección de Activos		
Fórmula	Metros_lineales_protegidos × Valor_activos_promedio × Probabilidad_daño_evitada × Factor_SLR		
Parámetros	Escenario 4.5	Escenario 8.5	Fuente
Factor de SLR	1.3 (30-60cm)	2.0 (60-120cm)	NOAA (2021); Met Office (2020)
Valor de protección	\$10K-50K/m/año	\$25K-100K/m/año	FEMA (2020); Infrastructure Australia (2021)
Probabilidad de daño base	1:100 años	1:50 años	FEMA, (2023)
BTM	Beneficio por Turismo Mantenido		
Fórmula	Metros_playa_conservados × Valor_turístico_unitario × Factor_atractivo × Estacionalidad		
Parámetros	Escenario 4.5	Escenario 8.5	Fuente
Valor turístico unitario	\$500-2,000/m/año	\$1,000-5,000/m/año	ONS (2021); Treasury (2021)
Factor atractivo	0.9	0.7	MDPI, (2020)
Estacionalidad	1.0	0.8	IPCC ARC6, (2021)
BCC	Beneficio por Continuidad de Conectividad		
Fórmula	Días_interrupción_evitados × Flujo_vehicular_diario × Valor_tiempo_promedio × Factor_escenario		
Parámetros	Escenario 4.5	Escenario 8.5	Fuente
Factor por escenario	1.5	3.0	NCHRP, (2014)
Días de interrupción base	2-5 días/año	5-12 días/año	Infrastructure Canada (2021); DOT (2021)
Valor de tiempo promedio	\$15-25 USD/hora	\$15-25 USD/hora	US DOT, (2023)

Tabla A4-2.4: Componentes de Beneficios Sociales Propuestos para Control Aluvional. Fuente: Elaboración propia, 2025.

BDI	Beneficio por Daños de Inundación Evitados		
Fórmula	$\text{Área_protegida_ha} \times \text{Valor_promedio_terreno} \times \text{Probabilidad_inundación_reducida} \times \text{Factor_intensificación}$		
Parámetros	Escenario 4.5	Escenario 8.5	Fuente
Factor de intensificación	1.25	1.5	Xu et al, (2024).
Probabilidad de inundación base	1:50 años	1:25 años	Delta Programme Commissioner (2021)
Valor del daño evitado	\$500-2,000/ha/año	\$2,000-8,000/ha/año	NOAA (2019); Productivity Commission (2020)
BCC	Beneficio por Continuidad de Conectividad		
Fórmula	$\text{Días_interrupción_evitados} \times \text{Flujo_vehicular_diario} \times \text{Valor_tiempo_promedio} \times \text{Factor_escenario}$		
Parámetros	Escenario 4.5	Escenario 8.5	Fuente
Factor por escenario	1.5	3.0	NCHRP, (2014)
Días de interrupción base	2-5 días/año	5-12 días/año	Infrastructure Canada (2021); DOT (2021)
Valor de tiempo promedio	\$15-25 USD/hora	\$15-25 USD/hora	US DOT, (2023)
BCS	Beneficio por Continuidad de Servicios		
Fórmula	$\text{Horas_interrupción_evitadas} \times (\text{Valor_serv_agua} + \text{valor_serv_electrico}) \times \text{hogares_afectados} \times \text{Factor_escenario}$		
Parámetros	Escenario 4.5	Escenario 8.5	Fuente
Factor por escenario	1.2	1.45	IPCC AR6 WGI, Cap. 11 (2021)
Horas de interrupción	6–24 h	12–48 h	EPA (2014); EIA (2024)
Valor servicio agua	7–15 USD/hh·h	15–60 USD/hh·h	OFWAT, (2017)
Valor servicio eléctrico	Viv.: 2–10 USD/h	Viv.: 3–15	ICE calculator, (2025)

Anexo 5-1| Entrevistas grupales

Informe de resultados

El objetivo central de las entrevistas grupales realizadas fue identificar las oportunidades, brechas y desafíos para la incorporación del PSC y atributos de mitigación al cambio climático en los proyectos del MOP. El ejercicio busca establecer un diagnóstico para transitar desde iniciativas voluntarias hacia un mecanismo estandarizado de evaluación social que reconozca y valore este tipo de proyectos.

La metodología utilizada consistió en la aplicación de entrevistas grupales a equipos técnicos y estratégicos de tres direcciones del MOP: DV, DOP y DOH, y al equipo del MDSF.

El levantamiento de información se estructuró en base a una pauta de preguntas dividida en seis dimensiones estratégicas:

1. **Prácticas y acciones de mitigación:** Levantamiento de iniciativas actuales (ej. uso de materiales, eficiencia energética).
2. **Dificultades y barreras:** Normativas, administrativas, técnicas o presupuestarias.
3. **Temporalidad y ciclo de vida:** Integración en estudios preinversionales y continuidad en el tiempo.
4. **Valorización económica:** Identificación de beneficios susceptibles de ser valorizados mediante el PSC.
5. **Información y cuantificación:** Disponibilidad de datos y bases de datos para medir GEI.
6. **Actores y gobernanza:** Roles, responsabilidades y coordinación con el Ministerio de Desarrollo Social y Familia.

Hallazgos por equipo de trabajo y dimensiones:

Dirección de Vialidad:

1. **Prácticas y acciones de mitigación:**
 - Se identificaron iniciativas específicas como proyectos de iluminación solar, requisitos de uso de acero reciclado con Declaración Ambiental de Producto (DAP) en puentes, y pilotos de reciclaje de pavimentos, uso de áridos artificiales y caucho en mezclas asfálticas.
 - Las acciones se concentran mayoritariamente en la fase de ingeniería y construcción, pero no en la preinversión, donde se definen trazados o alternativas macro.
2. **Dificultades y barreras:**
 - Barrera estructural: Solo el 10% de los proyectos interurbanos pasan por una fase de preinversión (el resto va directo a diseño), lo que elimina la posibilidad de evaluar alternativas de mitigación temprana.

- La metodología actual prioriza el ahorro de tiempo de viaje (80-90% de los beneficios), por lo que la inclusión de variables de carbono "no mueve la aguja" de la rentabilidad social, desincentivando su cálculo si no es obligatorio.
- En la preinversión, el cálculo de rentabilidad se ciñe estrictamente a las metodologías del SNI, considerando sólo ahorros de tiempo y costos de operación. No existe análisis de mitigación porque "no hay una valorización formal" aprobada para reducción de emisiones.

3. Temporalidad y Ciclo de Vida

- No se integran estudios de mitigación en la preinversión de manera sistemática. El análisis es agregado y no distingue detalles constructivos (ej. huella de materiales) en esta etapa.
- Existe una desconexión entre lo que se podría evaluar en prefactibilidad y lo que finalmente se diseña, faltando un seguimiento de la huella de carbono a lo largo del ciclo.
- La propuesta central es incorporar la valorización del carbono explícitamente en los TDR de los estudios de preinversión. Esto obligaría a evaluar alternativas considerando variables como consumo de combustible por movimiento de tierras o afectación de superficie boscosa.

4. Valorización económica

- Ahorro de combustible, reducción de horas-máquina (movimiento de tierras) y uso de materiales reciclados.
- No incorporan el PSC en la valorización de beneficios. Una vez seleccionada la alternativa, no se cuantifica el beneficio por reducción de emisiones.
- Falta una metodología validada por MDSF para traducir estos parámetros operativos (m³ de tierra, litros de combustible) a valores monetarios de carbono que se incorporen al VAN social. Se sugiere que el PSC debería tener una proyección creciente oficial para que pese más en evaluaciones a largo plazo.

5. Información y cuantificación

- Existen datos dispersos. Se menciona la "Guía de Huella de Carbono" como un avance para estandarizar la recolección de datos, pero faltan bases de datos oficiales de factores de emisión validados para la construcción vial.
- La información técnica existe (ej. consumo maquinaria), pero falta el "factor de conversión" oficial a CO₂ equivalente.

6. Actores y gobernanza

- El Inspector Fiscal es el responsable oficial, pero la validación metodológica depende de los analistas del MDSF, quienes a veces aplican criterios dispares según la región.
- Para favorecer la coordinación se requiere una instrucción formal desde la autoridad (DGOP/Director) para incorporar estas exigencias en los TDR, ya que los equipos técnicos no pueden actuar sin respaldo normativo.
- Consenso sobre la insuficiencia de la metodología actual del MDSF para capturar variables climáticas relevantes. Se requiere validar datos y métodos para avanzar

Dirección de Obras Portuarias

1. Prácticas y acciones de mitigación:

- Destaca la implementación de energía renovable (solar) en caletas y el uso de economía circular (redes de pesca recicladas para productos eléctricos, madera plástica en mobiliario). Estas acciones nacen de la voluntad de los profesionales y no de una imposición normativa.
- Fuerte enfoque en equipamiento y operación (iluminación).
- A diferencia de otras direcciones, la DOP ya cuenta con anexos específicos en sus TDR para "Reducción de Riesgo de Desastres", "Cambio Climático - Adaptación" (nivel del mar) y "Áreas bajo en carbonos en Zonas Costeras". Sin embargo, estos se usan para el diseño técnico, no para la evaluación económica.
- Existe un borrador de estándar de borde costero que incluye sostenibilidad social y ambiental como subservicios definidos.

2. Dificultades y barreras:

- La evaluación social es una carrera ya que la metodología (Costo-Eficiencia o Costo-Beneficio) no captura el beneficio del ahorro operacional que generan las tecnologías bajo en carbonos, castigando la mayor inversión inicial.
- Pese a tener recomendaciones y pilotos, la adopción es baja por falta de capacitación y desconocimiento sobre huella de carbono. Las buenas prácticas siguen siendo "voluntarias" y no "estándar".
- Dificultad para exigir materiales certificados con baja huella (ej. proveedores lejanos), lo que lleva a sustituciones en obra por materiales estándar para cumplir plazos.

3. Temporalidad y Ciclo de Vida

- La mitigación se incorpora en el diseño por iniciativa del consultor o inspector, pero no hay un procedimiento formal que obligue a evaluarla o mantenerla si el presupuesto aprieta.

4. Valoración económica

- Hay beneficios no valorados como es el ahorro energético total (costo cero para usuarios), durabilidad de materiales (menos recambio), y beneficios de adaptación (resiliencia).
- Se requiere poder valorizar el menor gasto operacional futuro como un beneficio directo en la evaluación social.
- La evidencia práctica es potente (ej. costo cero en energía para caletas con paneles solares), pero esto no se refleja en la evaluación de proyectos, debilitando el incentivo para la inversión inicial.
- Aunque hay metas de ecoeficiencia, faltan datos y herramientas para construir indicadores robustos y comparables territorialmente.

5. Información y cuantificación

- Faltan indicadores y bases de datos para cuantificar el impacto real (línea base vs. proyecto). Se requieren estudios básicos para caracterizar territorialmente estas variables.

6. Actores y gobernanza

- Depende excesivamente de la motivación individual o de los equipos. Se identifica la necesidad de que una unidad transversal (Nivel Central o DGOP) estandarice los requerimientos para no sobrecargar al Inspector Fiscal.

Dirección de Obras Hidráulicas

1. Prácticas y acciones de mitigación:

- Las prácticas son limitadas. La selección de materiales (roca, hormigón) se basa en disponibilidad y costo, sin criterios de huella de carbono.
- Se identifica la oportunidad de crear "Bancos de Materiales" regionales para reutilizar excedentes de excavación y reducir transporte.

2. Dificultades y barreras:

- Fuerte inercia ("siempre se ha hecho así") y resistencia a la innovación por parte de jefaturas si no hay una instrucción vinculante explícita.
- La dinámica de respuesta a emergencias (aluviones, crecidas) deja poco espacio para la planificación sostenible a largo plazo.

3. Temporalidad y Ciclo de Vida

- La DOH licita el diseño. Si los Términos de Referencia no exigen mitigación, los consultores no la incluyen. El control se pierde si no está especificado contractualmente desde el inicio.

4. Valoración económica

- Las SbN suelen ser más caras inicialmente y, al no valorarse sus servicios ecosistémicos en la metodología actual, quedan fuera por no ser rentables o costo-eficientes.

5. Información y cuantificación

- No hay datos sobre la huella de carbono de las obras tipo de la DOH. Se requiere apoyo externo para generar estas estimaciones.

6. Actores y gobernanza

- Los equipos técnicos reconocen no tener las competencias para evaluar huella de carbono. Solicitan que la Unidad de Medio Ambiente apoye redactando anexos técnicos estandarizados para las licitaciones.

Ministerio de Desarrollo Social y Familia

1. Prácticas y acciones de mitigación

- Se han creado "Geo-descriptores" de cambio climático en el SNI para etiquetar el gasto público climático (mitigación/adaptación), alineado con requerimientos de Hacienda. Sin embargo, esto es un etiquetado y no necesariamente cambia la rentabilidad del proyecto.
- Mientras Transporte y Edificación (vía ECSE) tienen caminos claros, sectores como Residuos y Áreas bajo en carbonos requieren un desarrollo metodológico adicional significativo.
- Se reitera la iniciativa con Hacienda para crear un banco de proyectos que visibilice la infraestructura sostenible.

2. Dificultades y barreras:

- Se advierte que la próxima administración probablemente priorizará la agilización de la inversión y la simplificación de trámites. Nuevas exigencias metodológicas podrían ser vistas como barreras si no se plantean como mejoras de eficiencia .
- Se enfatiza que las herramientas técnicas muchas veces existen (o se pueden adaptar), pero falta la decisión política de hacerlas obligatorias.
- Se señala la necesidad de incorporar procedimientos que permitan mantener la continuidad de la información en las diferentes etapas MOP y de MDSF.

3. Temporalidad y Ciclo de Vida

- La visión es incorporar estas variables en etapas tempranas (perfil/prefactibilidad) mediante la corrección de precios en el presupuesto. Se ve complejo aplicar un Análisis de Ciclo de Vida completo en el corto plazo debido a la falta de madurez de los datos.
- Se busca que la evaluación ex-ante (diseño) converse con la operación, pero hoy no existen mecanismos fuertes de verificación ex-post de las emisiones reales.

4. Valorización económica

- Se ratifica que el PSC es transversal. La elección entre metodología Costo-Beneficio o Costo-Eficiencia está normada y depende del tipo de proyecto, pero en ambos casos puede aplicarse el PSC para valorar beneficios o discriminar alternativas .
- Se destaca que el sector transporte es el más avanzado. En proyectos de ferrocarriles y metro ya se utiliza el software Strauss para valorar beneficios por ahorros en emisiones, constituyendo un caso de éxito de aplicación del PSC.
- Existe una discusión estratégica sobre cómo valorar, según el periodo de tiempo: en el largo plazo se busca corregir los precios sociales de los materiales, para lo que se podría utilizar la herramienta ÁBACO, para reflejar su costo ambiental verdadero. En el corto plazo, se recomienda cuantificar la huella mediante un ACV simplificado del proyecto. Este enfoque se considera más rápido de implementar para empezar a valorar proyectos con menores emisiones tempranamente.

5. Información y cuantificación

- El MDSF está dispuesto a validar datos provenientes de la academia o instituciones públicas siempre que sean neutrales y técnicamente robustos.
- Se abordó la herramienta ECSE como apoyo a la formulación de proyectos con foco en eficiencia energética en edificaciones; pasó de uso voluntario a requisito en grandes proyectos de edificación pública.
- Se discute la herramienta ÁBACO como mecanismo para presupuestar obras con precios sociales, ya que permite corregir el costo de los materiales. Sin embargo, se reconoce que su base de datos está desactualizada (data de alrededor de 2016) y requiere inversión para ser utilizable.
- Se identifica la falta de un documento consensuado oficial que liste los materiales y sus huellas de carbono. Los insumos académicos son valiosos pero no bastan; se requiere una fuente oficial validada.

6. Actores y gobernanza

- Se identifican problemas de coordinación. Señalan que la validación de factores de emisión no depende solo de ellos, sino de la competencia técnica de los ministerios sectoriales. El MDSF actúa como validador metodológico, pero el sector debe proponer el indicador.}

- Reconocen que temas importantes se diluyen por falta de priorización política y escasez de recursos humanos en el departamento de metodologías.

Tabla comparativa

Tabla A5-1.1. Comparación de hallazgos por dimensión y división/Ministerio.

Fuente: GeoAdaptive, 2026.

Dimensión	DV	DOP	DOH	MDSF
1. Prácticas y acciones	Requisitos formales en manuales (ej. acero reciclado, RAP) y pilotos de pavimentos.	Implementación en terreno por iniciativa propia (solar, economía circular con redes/plásticos).	Prácticas limitadas y tradicionales. Propuesta de "Bancos de Materiales" regionales.	Uso de metodología Excel (Edificación) y desarrollo de ÁBACO (Infraestructura), aunque con datos desactualizados.
2. Dificultades y Barreras	El 90% de proyectos no tiene preinversión. Solo se considera el beneficio de ahorro de tiempo.	La evaluación Costo-Eficiencia castiga la inversión baja en carbono inicial y no valora el ahorro operacional.	Fuerte inercia ("status quo") y falta de instrucciones vinculantes para innovar.	Falta de voluntad política para hacer obligatorias las herramientas existentes.
3. Temporalidad y Ciclo de Vida	Se pierde la oportunidad de evaluar trazados bajos en carbono al saltarse la preinversión.	Diseño sostenible choca con la realidad de suministros en obra (materiales no disponibles).	Dependencia total de lo exigido a consultores en los TdR. Sin exigencia, no hay cálculo.	Apunta a corregir precios en la etapa de presupuesto oficial (licitación) más que al ciclo de vida completo.
Valorización (Rol del PSC)	El PSC tiene peso insignificante en la rentabilidad actual. Piden proyección creciente del precio.	Potencial del PSC para valorar ahorros futuros y justificar tecnología otro tipo de tecnologías como la solar	Oportunidad del PSC para valorizar servicios ecosistémicos de soluciones naturales frente a grises.	Confirma que el PSC puede usarse en Costo-Eficiencia para elegir la mejor alternativa social.
5. Información y Datos	Existen datos operativos pero faltan factores oficiales para traducirlos a CO ₂ valorizable.	Carencia de indicadores para comparar proyecto "bajo en carbono" vs. tradicional.	No hay información de huella de carbono de obras tipo (defensas fluviales).	La herramienta ÁBACO cuenta con datos obsoletos. Dispuestos a validar datos externos.
6. Gobernanza y Roles	Esperan cambios normativos formales en Manuales y metodologías para	Avanzan por motivación técnica/ética, pero necesitan respaldo central para no	Requieren apoyo transversal de Unidades de Medio Ambiente para redactar exigencias	El rol es validar metodologías propuestas por los sectores; no generar el

	actuar.	sobrecargar a Inspectores.	en licitaciones.	indicador primario.
--	---------	-------------------------------	------------------	---------------------

Un hallazgo transversal es que la incorporación de estas variables hoy depende de la voluntad de profesionales individuales o jefaturas específicas, no de exigencias estructurales. En la DOP esto es evidente con la adopción de energías renovables "por iniciativa propia", y en la DOH se menciona que la inercia impide la innovación sin una instrucción vinculante. Desde la perspectiva del MDSF, se confirma este diagnóstico: reconocen que aunque existen herramientas técnicas, ha faltado la "voluntad política" para hacerlas obligatorias. Advierten además que la agenda futura de agilización de la inversión podría ver estas exigencias como "permisología" si no se plantean adecuadamente como mejoras de eficiencia del gasto. De esta forma, las buenas prácticas no escalan porque no son obligatorias.

Las tres direcciones coinciden en que la metodología actual del MDSF es una barrera o no es un habilitador: en Vialidad el ahorro de tiempo eclipsa al carbono; en DOP el enfoque costo-eficiencia desincentiva la inversión baja en carbono inicial; y en DOH las SbN quedan fuera. Sin embargo, el MDSF aclara un punto crucial: la normativa actual sí permite utilizar el PSC incluso en metodologías Costo-Eficiencia para discriminar entre alternativas. Esto sugiere que la barrera no es necesariamente la ausencia de metodología, sino la falta de instrucciones claras para operativizar lo que ya está permitido, calculando un "Costo Social Equivalente" que internalice las emisiones.

Existe un consenso en que el mecanismo operativo para introducir el cambio son los TdR de las licitaciones. El MDSF complementa esta visión proponiendo intervenir también en la etapa de presupuesto oficial mediante la herramienta ÁBACO. Su estrategia es corregir los precios de mercado de los materiales (acero, hormigón) a "precios sociales" que incluyan el costo del carbono, transparentando el valor real de la obra antes de licitar .

Para aplicar el PSC, faltan los "factores de conversión" oficiales (ej. emisiones por hora de maquinaria o transporte de materiales). El MDSF reconoce que su propia base de datos (ÁBACO) está desactualizada, con información de alrededor del 2016 y carece de recursos para renovarla por sí sola. No obstante, ofrecen una solución institucional: están dispuestos a validar factores de emisión propuestos por los sectores (MOP, Energía) o la academia, siempre que sean técnicamente robustos y neutrales.

Listado de documentos revisados

Para el desarrollo del diagnóstico, se llevó a cabo una revisión documental que complementó la información obtenida de las entrevistas grupales. Este proceso fue esencial para comprender el contexto, identificar los antecedentes relevantes, y recopilar datos e información clave que sustenten las bases del informe.

Tabla A5-1.2. Principales documentos revisados para el diagnóstico.
Fuente: GeoAdaptive, 2026.

Nombre	Fuente
1. Guía de Medición de Huella de Carbono para proyectos del MOP	MOP, 2025
2. Manual de la herramienta ECSE 2, División Evaluación Social de Inversiones	MDSF, 2021
3. Plan de Adaptación y Mitigación al Cambio Climático - Sector Infraestructura	MOP, 2025
4. Metodología para la estimación del precio social del carbono en Chile y los países de América Latina y el Caribe	CEPAL, 2021
5. Estimación del precio social del carbono para la evaluación de la inversión pública en Chile	CEPAL, 2024
6. Simulaciones del precio social del carbono en el sector de la infraestructura en países seleccionados de América Latina	CEPAL, 2020
7. Análisis de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en proyectos aeroportuarios y de conectividad	MOP, 2023
8. Guía del impuesto al carbono: Un manual para creadores de política. Apéndice: Estudios de caso del impuesto al carbono.	BM, 2017

Anexo 5-2| Aplicabilidad y síntesis por tipología

Aplicabilidad por tipología

El siguiente diagrama permite visualizar de forma sintética la distribución de las medidas de adaptación, mitigación y gestión integradas a lo largo del ciclo de vida de los proyectos de infraestructura, evidenciando que la etapa de preinversión fase de perfil cumple principalmente un rol habilitante, orientado a la generación de información base y a la integración temprana del cambio climático en los estudios preinversionales (Figura A5-3.1).

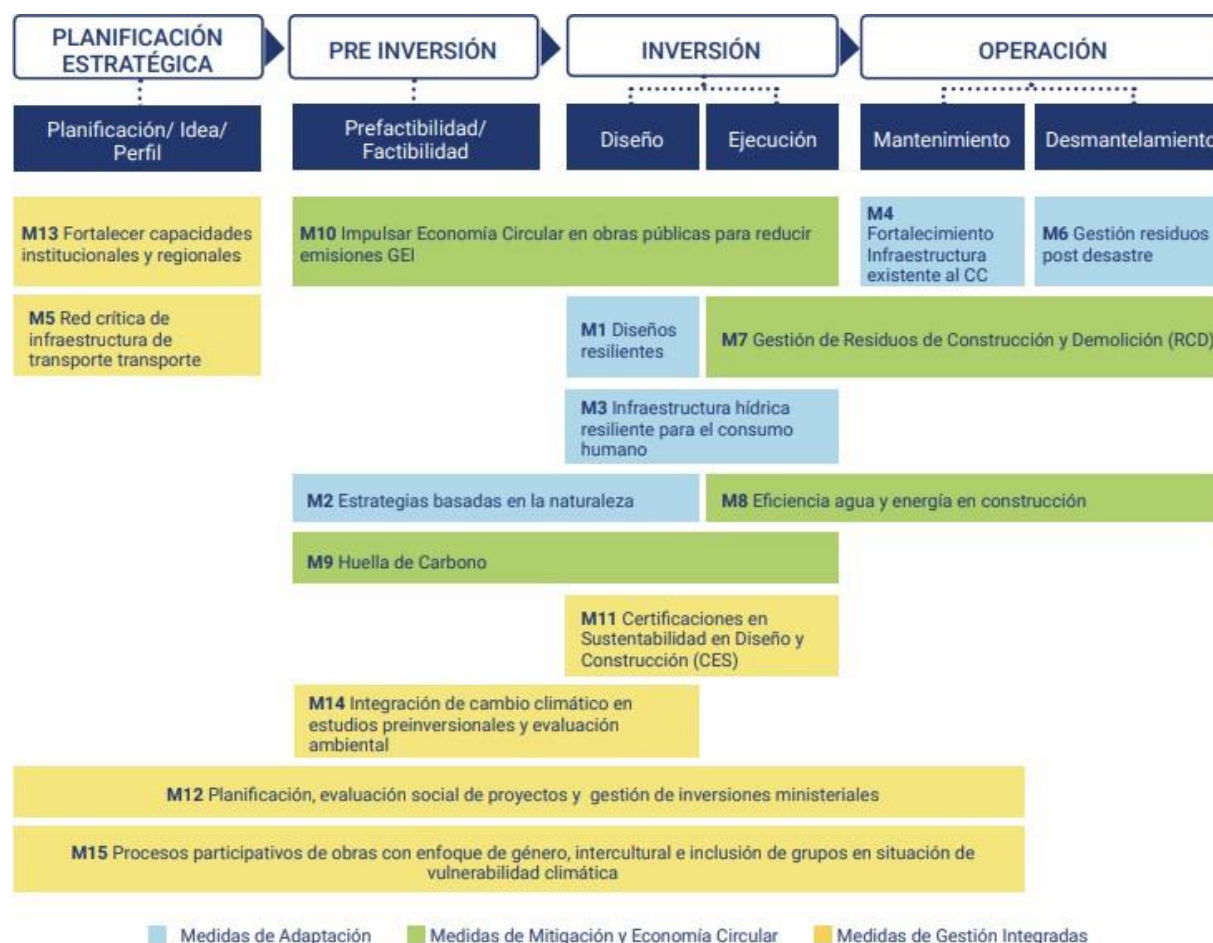


Figura A5-2.1. Definición de medidas según análisis de ciclo de vida. Fuente: MOP, 2025.

Tipología 1: Control aluvional y manejo de causas

Las obras de control aluvional y manejo de cauces consisten en intervenciones físicas en cuencas hidrográficas (principalmente en zonas de alta pendiente) diseñadas para mitigar el flujo de detritos o aluviones. Estas obras, generalmente, incluyen la construcción de pozas de decantación, barreras disipadoras, muros de defensa y canalizaciones, con el objetivo de estabilizar el cauce y proteger asentamientos humanos e infraestructura crítica ante eventos extremos.

Aplicabilidad técnica y normativa

- **Eficiencia energética y ERNC en etapa de construcción y operación:** Existen oportunidades de optimización durante la etapa de construcción y ejecución del proyecto. En la etapa de preinversión se puede promover la implementación de faenas de bajo impacto priorizando el uso de grupos electrógenos eficientes o torres de iluminación solares para los campamentos de la obra. Asimismo, la optimización de rutas de maquinaria pesada y liviana para minimizar los tiempos de desplazamiento. Luego es posible en la etapa de operación además la instalación de estaciones fluviométricas y sensores de alerta temprana con autonomía energética mediante paneles fotovoltaicos y bancos de baterías, evitando el uso de generadores a combustión en zonas de difícil acceso.
- **Materiales y residuos:** Existe disponibilidad técnica para el uso de gaviones y defensas enrocadas en lugar de hormigón armado, lo que reduce el carbono incorporado de la obra. No obstante, la tecnología para el procesamiento in situ de áridos reciclados (chancado móvil) depende de la accesibilidad geográfica de la quebrada o cauce.

Aplicabilidad normativa y de gobernanza

- **Alineación con el PSM:** promueve explícitamente la incorporación de criterios de diseño pasivo, eficiencia energética y ERNC en las bases de licitación de cada etapa del proyecto. Esto faculta a la DOH para incluir exigencias de descarbonización en las bases de licitación en preinversión como una medida de cumplimiento gradual del PSM.
- **Gestión de RCD:** El PSM mandata modificar las Bases de Licitación para incorporar el uso de materiales certificados de bajo carbono y sistematizar la información de los RCD. En preinversión, esto se traduce en la obligación de proyectar el manejo de excedentes para su reaprovechamiento en la misma obra o en bancos de materiales regionales (MOP, 2025b).

Factibilidad de cuantificación y medición (MRV)

- **Huella de carbono preliminar:** Existe una alta factibilidad de aplicar la clasificación y agrupación de partidas, incluida en la Guía de Huella de Carbono (MOP, 2025a). En la etapa de preinversión, esto consiste en filtrar el itemizado del proyecto para identificar las partidas de infraestructura y materiales, dejando fuera los servicios de mano de obra. Para la DOH, esto permite agrupar los movimientos de tierra y estimar emisiones

de la etapa de construcción usando los ratios de consumo de combustible y horas de uso de maquinaria proyectadas (MOP, 2025b)³⁶.

- **Sistematización de datos:** La preinversión debe generar la información base necesaria (cubicaciones totales de excavación, tipos de residuos y distancias estimadas de transporte) para alimentar la futura Ficha Mensual para la Gestión de los RCD. Es imperativo masificar el uso de esta ficha en todas las obras del MOP para sistematizar estadísticas que hoy no existen (como la cuantificación de residuos por tipo de obra) y permitir el reaprovechamiento efectivo de materiales (MOP, 2025b).

Identificación de barreras críticas

- **Necesidad de estudios técnicos y gradualidad:** Una barrera fundamental identificada es la falta de antecedentes técnicos consolidados sobre el comportamiento de nuevos materiales. El PSM establece que, antes de modificar las Bases de Licitación para exigir materiales de bajo carbono (como cemento o acero), es necesario realizar estudios técnicos durante los primeros años del PSM para evaluar la oferta nacional e internacional. Esto implica que, en la etapa de preinversión actual, existe una barrera de **incertidumbre técnica** que obliga a una implementación gradual y supeditada a validaciones previas.
- **Sistematización de datos y trazabilidad:** Existe una barrera de información crítica respecto a la economía circular. El PSM señala que actualmente no se manejan estadísticas sistematizadas sobre la gestión de residuos (m³ totales, caracterización por tipo de obra, etc.), lo que dificulta establecer líneas de base precisas en la etapa de preinversión. Sin esta data histórica, la valoración de beneficios por reaprovechamiento de materiales es incierta.
- **Viabilidad geográfica y ambiental de reaprovechamiento:** El reaprovechamiento de RCD no es aplicable de forma universal. El documento indica que se requieren "análisis Ad-Hoc" para determinar en qué obras es viable técnica y económicamente realizar mecanismos de valorización, considerando factores geográficos y ambientales específicos. Para obras de control aluvional en zonas remotas, esta evaluación local constituye una barrera logística de entrada.
- **Confianza de los contratistas:** Se identifica una barrera cultural o de mercado; el PSM menciona la necesidad de "sensibilizar a los contratistas para aumentar su confianza" en el uso de materiales sustentables, sugiriendo que una carencia de incentivos para que el sector privado adopte estas exigencias vinculadas a medidas de mitigación en las licitaciones de nuevas obras.

³⁶ El Módulo A5 se refiere específicamente a la etapa de construcción e instalación en sitio dentro del Análisis de Ciclo de Vida (ACV) de una obra. Este módulo es crítico para la gestión de carbono porque cuantifica las emisiones generadas directamente en la faena.

Tipología 2: Infraestructura vial (puentes)

Los puentes representan obras críticas de conectividad cuya construcción demanda un uso intensivo de materiales de construcción con una alta huella embebida, principalmente producto del hormigón armado y acero estructural, y además generalmente conforman parte de un tipo de infraestructura de mayor envergadura, como carreteras u otras redes de transporte vial, es por esto por lo que resulta altamente atractivo detectar opciones de mitigación en etapas tempranas del desarrollo del proyecto.

Aplicabilidad técnica y operativa

- **Eficiencia energética y ERNC en etapa de construcción y operación:** Existen oportunidades de optimización de recursos, particularmente en la etapa de operación. Por ejemplo, En la fase de perfil se puede mandar la implementación de faenas de bajo impacto, priorizando el uso de grupos electrógenos de bajo impacto (eficientes) e iluminación cuyo suministro sea energía solar. Se puede exigir la optimización de rutas de maquinaria pesada y logística para minimizar los tiempos de desplazamiento de camiones mixer y transporte de acero. Es posible integrar la instalación de iluminación LED con suministro fotovoltaico y bancos de batería, evitando dependencias de la red eléctrica y generadores de energía en base a combustibles fósiles durante su operación.
- **Materiales y residuos:** Dado el uso intensivo de materiales de alto carbono incorporado, existe disponibilidad técnica para evaluar diseños que optimicen el acero y hormigón. En proyectos de reposición, la tecnología para el procesamiento in situ de áridos reciclados provenientes de la demolición de la estructura antigua (chancado móvil) es aplicable para la conformación de rellenos estructurales en estribos o bases de los accesos viales, reduciendo la necesidad de transporte externo (MOP, 2025).³⁷ No obstante, esta aplicabilidad depende de la accesibilidad geográfica y el espacio disponible para faena, además del avance de estudios técnicos de la materialidad mandados por el PSM.

Aplicabilidad normativa y de gobernanza

- **Alineación con el PSM:** Promueve explícitamente la incorporación de criterios de diseño pasivo, eficiencia energética y ERNC en las bases de licitación de cada etapa del proyecto. Esto faculta a la DV para incluirlo como exigencia en futuras licitaciones.
- **Gestión de residuos (RCD):** Mandata la incorporación de uso de materiales certificados bajos en carbono y sistematizar la información de los RCD.

³⁷ Módulo 4, emisiones asociadas al transporte de los materiales hasta el sitio de construcción.

Factibilidad de cuantificación y medición (MRV)

- **Huella de carbono preliminar:** Al identificar las partidas de acero estructural y hormigón, se puede aplicar la clasificación y agrupación de partidas en el análisis a partir del itemizado del proyecto para estimar preliminarmente emisiones del producto y construcción, utilizando factores de emisión referenciales y supuestos conservadores sobre distancias de transporte y rendimiento de maquinaria (MOP, 2025b).³⁸
Este ejercicio puede ser clave para identificar alternativas estructurales con distintos desempeños en materia de carbono, ya que una fracción significativa de las emisiones se encuentra en esta partida.
- **Sistematización de datos:** En fase de preinversión se recomienda levantar información base mínima (cubicaciones globales de excavación, estimación preliminar de tipos de residuos y distancias referenciales de transporte), con el objetivo de habilitar una gestión posterior más robusta de RCD durante las fases de diseño y ejecución. Si bien la Ficha Mensual para la Gestión de RCD es un instrumento aplicable principalmente en etapa de obra, el levantamiento temprano de datos permite asegurar trazabilidad futura y reducir la brecha de información identificada en el PSM (MOP, 2025b). Este enfoque no implica una exigencia vinculante en perfil, sino la incorporación progresiva de antecedentes que faciliten la sistematización sectorial.

Identificación de barreras críticas

- **Necesidad de estudios técnicos y gradualidad:** Una barrera central para la incorporación de medidas de mitigación en infraestructura de puentes es la necesidad de contar con estudios técnicos que respalden el desempeño estructural y la durabilidad de materiales alternativos o de menor huella de carbono, particularmente en hormigón y acero. Tal como establece el PSM, antes de introducir exigencias vinculantes en las Bases de Licitación es necesario desarrollar estudios que evalúen la oferta disponible, su comportamiento estructural y su compatibilidad con la normativa vigente. En consecuencia, la aplicación de estas medidas debe abordarse de manera gradual, privilegiando lineamientos y criterios orientadores más que especificaciones técnicas obligatorias, hasta contar con evidencia técnica consolidada.
- **Sistematización de datos y trazabilidad:** El PSM y la Hoja de Ruta de RCD identifican una brecha relevante en la disponibilidad y sistematización de información asociada a volúmenes de materiales, generación de residuos y destinos finales por tipología de obra. En el caso de puentes, esta falta de trazabilidad dificulta la construcción de líneas base robustas para la huella de carbono y la economía circular, especialmente en proyectos de reposición. En la etapa de preinversión, esta barrera se traduce en una alta dependencia de supuestos y factores referenciales, lo que limita la precisión de la cuantificación de emisiones y la valorización de beneficios ambientales mediante el PSC.
- **Viabilidad geográfica y ambiental del reaprovechamiento:** El reaprovechamiento de residuos de demolición de puentes, como el chancado in situ de hormigón para rellenos

³⁸ Paso 2: Clasificación y agrupación de partidas: Análisis a partir del itemizado del proyecto / Paso 4: Estimación de emisiones por etapas (Etapas de producto y construcción, Módulos A1-A5).

estructurales o accesos, no es aplicable de manera universal. Su factibilidad depende de condiciones geográficas específicas (disponibilidad de espacio para faena, accesibilidad vial, cercanía a centros de reutilización) y de restricciones ambientales asociadas al emplazamiento del puente, particularmente en cercanía a cauces, humedales u otras áreas sensibles. Tal como señala la Hoja de Ruta de RCD, estas condiciones requieren análisis ad hoc por proyecto, lo que constituye una barrera logística y ambiental para su incorporación sistemática en la etapa de preinversión.

- **Confianza de los contratistas y madurez del mercado:** Finalmente, se identifica una barrera asociada a la confianza del mercado y de los contratistas en la implementación de medidas de mitigación y economía circular en infraestructura vial. La limitada experiencia en el uso de materiales de menor huella de carbono o en esquemas de valorización de RCD en puentes genera reticencias asociadas a riesgos técnicos, costos y responsabilidades contractuales. El PSM reconoce la necesidad de procesos de sensibilización y fortalecimiento de confianza del sector privado para aumentar la adopción efectiva de estas medidas.

Tipología 3: Infraestructura de protección de borde costero

Las obras de protección de borde costero corresponden a intervenciones destinadas a reducir la exposición y vulnerabilidad de asentamientos urbanos, infraestructura crítica y ecosistemas frente a procesos de erosión, socavación e inundación costera. Estas obras incluyen, entre otras, defensas rígidas (muros, espigones, rompeolas), soluciones híbridas y obras de estabilización del litoral, caracterizándose por un uso intensivo de materiales combustibles y hormigón, así como por su emplazamiento en entornos ambientalmente sensibles. Esta tipología presenta oportunidades acotadas pero relevantes para integrar la mitigación climática, principalmente asociadas a decisiones tempranas de materialidad, logística y enfoque de ciclo de vida, en coherencia con el PSM.

Aplicabilidad técnica y operativa

- **Eficiencia energética y ERNC:** En la etapa de preinversión es técnicamente viable incorporar de manera preliminar criterios orientadores para la ejecución de faenas de bajo impacto energético, tales como el uso de iluminación eficiente y autónoma (por ejemplo, torres de iluminación con suministro fotovoltaico) y la optimización de la logística de transporte de materiales pétreos y hormigón, los cuales suelen representar una fracción relevante de las emisiones asociadas al transporte (MOP, 2025a).³⁹ En la etapa de operación, en ciertos casos es posible integrar equipamiento auxiliar (iluminación de seguridad, señalización marítima o sensores de monitoreo) con suministro energético mediante ERNC, reduciendo requerimientos de mantención y consumo energético en zonas de difícil acceso.
- **Materiales y residuos:** Las obras de borde costero presentan una alta dependencia de materiales con elevada huella incorporada, como el hormigón y el enrocado. Existe aplicabilidad técnica para evaluar soluciones de diseño que prioricen el uso de material

³⁹ Etapa de construcción, Módulo A4: Emisiones asociadas al transporte de los materiales hasta el sitio de construcción

pétreo local, reduciendo distancias de transporte, así como alternativas estructurales que optimicen volúmenes de hormigón sin comprometer la estabilidad ni la función de protección. Asimismo, en proyectos de mejoramiento o reposición, puede evaluarse preliminarmente el reaprovechamiento de material proveniente de demoliciones, particularmente enrocados y elementos pétreos, alineándose con los principios de economía circular establecidos en la Hoja de Ruta de RCD (CORFO, 2020).

Aplicabilidad normativa y de gobernanza

- **Alineación con el PSM:** El PSM establece como lineamiento transversal la incorporación de criterios de mitigación y eficiencia en todas las tipologías de infraestructura, considerando un enfoque de ciclo de vida del proyecto. En este contexto, la DOP se encuentra habilitada para incorporar, desde la etapa de preinversión, criterios orientadores de descarbonización en los términos de referencia de los estudios, particularmente en lo relativo a materialidad, transporte y gestión de residuos, según corresponda.
- **Gestión de residuos (RCD):** El PSM (MOP, 2025b) y la Hoja de Ruta de RCD (CORFO, 2020) enfatizan la necesidad de proyectar tempranamente la gestión de residuos y excedentes de obra. En la etapa de preinversión, esto se traduce en la identificación preliminar de volúmenes de material excedente (principalmente material pétreo y hormigón) y en la evaluación conceptual de su potencial reaprovechamiento, ya sea en la misma obra o en otras iniciativas de infraestructura cercanas, sin que ello implique aún definiciones operativas obligatorias.

Factibilidad de cuantificación y medición (MRV)

- **Huella de carbono preliminar:** De acuerdo con la Guía de Huella de Carbono, la etapa de preinversión permite realizar La identificación temprana de partidas de enrocado, hormigón y transporte de materiales permite la clasificación y agrupación de partidas, estimando emisiones asociadas a la producción de materiales y transporte y construcción, utilizando factores de emisión referenciales (MOP, 2025a).⁴⁰ Este ejercicio permite comparar alternativas de solución (por ejemplo, distintos tipos de defensa costera) desde una perspectiva de carbono, aun cuando el nivel de definición técnica sea preliminar.
- **Sistematización de datos:** En la etapa de preinversión es factible generar información base suficiente para alimentar instrumentos posteriores de seguimiento, tales como fichas de gestión de RCD e informes preliminares de huella de carbono. Entre estos antecedentes se incluyen volúmenes globales de materiales pétreos y hormigón, estimación de excedentes de obra y distancias promedio de transporte. La disponibilidad de esta información resulta clave para avanzar en la trazabilidad de materiales, brecha identificada explícitamente en el PSM (MOP, 2025b) y la Hoja de Ruta de RCD (CORFO, 2020).

⁴⁰ Paso 2: Clasificación y agrupación de partidas: Análisis a partir del itemizado del proyecto / Paso 4: Estimación de emisiones por etapas (Etapa de Producto y etapa de construcción)

Identificación de barreras críticas

- **Necesidad de estudios técnicos y gradualidad:** Necesidad de respaldar técnicamente cualquier modificación en materialidad o diseño, dada la función crítica de estas obras en la protección frente a eventos extremos. El PSM reconoce que la exigencia de materiales de menor huella de carbono debe estar precedida por estudios técnicos que evalúen su desempeño estructural y durabilidad en ambientes marinos agresivos. En consecuencia, en la etapa de preinversión la implementación debe ser gradual y centrada en criterios orientadores más que en exigencias vinculantes.
- **Sistematización de datos y trazabilidad:** Sistematización de información histórica sobre volúmenes de materiales y residuos generados en obras de borde costero. Esta falta de trazabilidad limita la construcción de líneas base robustas para la huella de carbono y la economía circular, dificultando la cuantificación precisa de beneficios de mitigación en la etapa de preinversión.
- **Viabilidad geográfica y ambiental del reaprovechamiento:** La reutilización de material pétreo o de demolición debe evaluarse caso a caso, considerando impactos en el ecosistema marino, dinámicas litorales y restricciones normativas ambientales. Tal como señala la Hoja de Ruta de RCD (CORFO, 2020), la necesidad de análisis ad hoc por proyecto constituye una barrera para su aplicación sistemática.
- **Confianza de los contratistas y madurez del mercado:** Incentivos para el mercado en la implementación de medidas de mitigación y economía circular en infraestructura de borde costero. Las condiciones ambientales exigentes e incertidumbre técnica generan reticencias en los contratistas, particularmente respecto al uso de materiales alternativos o esquemas de reaprovechamiento. El PSM reconoce la necesidad de fortalecer capacidades y confianza del sector privado para avanzar en la adopción de estas medidas, reforzando la pertinencia de un enfoque progresivo desde la etapa de preinversión.

Síntesis por tipología e instrumentos normativos

Síntesis comparativa por tipologías de infraestructura

La siguiente tabla presenta una síntesis comparativa de la aplicabilidad relativa de las principales medidas de mitigación identificadas para las tres tipologías de infraestructura analizadas en la etapa de preinversión. La clasificación en términos de alta, media o baja aplicabilidad responde a un análisis cualitativo que considera el grado de influencia que pueden tener las decisiones tempranas del proyecto sobre cada medida, así como las restricciones técnicas, operativas y contextuales propias de cada tipología. Esta síntesis permite visualizar de manera integrada las oportunidades transversales de mitigación, así como aquellas medidas cuya implementación resulta más dependiente de definiciones técnicas que se materializan en etapas posteriores del ciclo de inversión.

Tabla A5-2.1. Comparación de medidas de mitigación por tipología de infraestructura.

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Medida / Tipología	Control aluvional y cauces	Puentes	Borde costero
Eficiencia energética en faenas	Alta aplicabilidad	Alta aplicabilidad	Media aplicabilidad
Uso de ERNC en equipamiento auxiliar	Alta (sensores, estaciones)	Alta (iluminación)	Media (señalización, monitoreo)
Optimización logística y transporte	Media aplicabilidad	Alta aplicabilidad	Alta aplicabilidad
Optimización de materialidad	Media (gaviones/enrocados)	Alta (acero/hormigón)	Alta (enrocado/hormigón)
Reaprovechamiento de	Media aplicabilidad	Alta en	Media aplicabilidad

RCD ⁴¹		reposición	
Huella de carbono preliminar	Alta aplicabilidad	Alta aplicabilidad	Alta aplicabilidad

Simbología

	Alta aplicabilidad
	Media aplicabilidad

Síntesis de instrumentos y aplicabilidad

La siguiente tabla resume el rol que cumplen los principales instrumentos de gestión del cambio climático y herramientas sectoriales del MOP en la etapa de perfil, así como su grado de aplicabilidad transversal a las distintas tipologías de infraestructura analizadas. Este ejercicio permite distinguir entre aquellos instrumentos que operan como habilitantes conceptuales o metodológicos desde fases tempranas del proyecto, y aquellos cuya incidencia efectiva depende de ajustes normativos, técnicos o administrativos que se materializan en etapas posteriores del ciclo de inversión pública.

Tabla A5-2.2. Comparativa de instrumentos normativos y de gestión aplicables en etapa de preinversión.

Fuente: Elaboración propia, 2025. Con base en documentos sectoriales

Instrumento	Función principal en etapa de preinversión	Aplicabilidad transversal
Plan Sectorial de Mitigación (PSM)	Define lineamientos y gradualidad (referencia conceptual directa)	Alta
Guía de Huella de Carbono MOP	Habilita ACV simplificado	Alta

⁴¹Si bien las normas NCh163:2024 y NCh3849 habilitan técnica y estructuralmente el uso de hormigón y áridos reciclados, el PSM establece una condición adicional. Para la certificación de materiales bajos en carbono en obras de infraestructura aún se requieren estudios técnicos durante los primeros años del plan. Estos estudios permitirán evaluar la oferta nacional e internacional antes de modificar formalmente las bases de licitación. Si bien esto tiene que ver más con la gestión del carbono (HdC), también puede resultar como un paso habilitante en el reaprovechamiento de los RCD. No obstante, en el caso específico de infraestructura vial estructural, como puentes, cualquier incorporación de materiales alternativos o reciclados en elementos estructurales deberá cumplir estrictamente con el Manual de Carreteras del MOP, la NCh170 (Hormigón – Requisitos generales), la NCh430 (Hormigón armado), la normativa sísmica vigente y las exigencias específicas de desempeño y durabilidad propias de este tipo de obras. En consecuencia, su aplicabilidad no es automática ni universal, y requiere estudios previos de desempeño estructural, ensayos normativos (según corresponda) y certificaciones técnicas que aseguren que no se comprometen los estándares de resistencia, seguridad vial y vida útil definidos por la normativa vigente. Bajo ningún escenario estas propuestas sustituyen o flexibilizan las exigencias técnicas actuales, sino que deben entenderse dentro de un enfoque gradual y caso a caso, coherente con los lineamientos del PSM.

Instrumento	Función principal en etapa de preinversión	Aplicabilidad transversal
Hoja de Ruta RCD	Orienta proyección temprana de residuos (referencia conceptual directa)	Media-Alta
PSC (PSC)	Valorización preliminar de beneficios	Media
Bases de Licitación MOP	Instrumento habilitante (ajustes futuros)	Media

Síntesis del análisis de aplicabilidad

En el caso de medidas asociadas a economía circular, gestión de residuos de la construcción y eficiencia en el uso de agua y energía en la construcción, estas no pueden adelantarse plenamente a la etapa de preinversión, dado que dependen de definiciones técnicas y operativas propias de fases posteriores. Sin embargo, herramientas como la estimación preliminar de la huella de carbono sí permiten una aplicación temprana en esta etapa, facilitando la identificación de beneficios ambientales desde el origen del proyecto y contribuyendo a rentabilizar la inversión pública y a aumentar la competitividad entre alternativas al incorporar el carbono como un criterio adicional de decisión.

Se muestra donde se concentran las mayores oportunidades de mitigación en etapa de preinversión desde el punto de vista técnico (Figura A5-3.2):



Figura A5-2.2. Mayores oportunidades de mitigación en la etapa de preinversión. Fuente: Elaboración propia, 2026.

Anexo 5-3 | Aclaraciones técnicas adicionales

Introducción

Esta sección tiene por objetivo explicar la lógica económica que existe tras el procedimiento propuesto para la implementación de la valorización de las medidas de mitigación en la evaluación social de proyectos en fase de preinversión que implementan dichas medidas.

La fase de preinversión es crucial para asegurar que el proyecto sea social y económicamente viable e incluya la mitigación climática en su implementación posterior. Es importante destacar que esta fase considera los costos y beneficios correspondientes a todo el ciclo de vida del proyecto evaluado, dependiendo de la calidad de la información disponible para su análisis y valorización, considerando información para evaluación y selección de alternativas así como estudios de prefactibilidad y factibilidad.

Cabe señalar que la lógica de operación de la herramienta ECSE, diseñada para evaluar socialmente, en una etapa pre inversional, las medidas de eficiencia energética en proyectos de edificación pública, está construida con esta lógica. Sobre la base de antecedentes de carácter preliminar, ECSE entrega el resultado de la evaluación social de un proyecto base de edificación (sin medidas de mitigación) más la evaluación en sí misma de las medidas de mitigación que se pretende incorporar en dicha edificación.

Esta es la lógica por la que se opta en este documento, pues visibiliza la evaluación social de las medidas de mitigación incorporadas en un proyecto, tanto en su dimensión de beneficios como en su dimensión de costos.

Valorización

Esta valorización implica, en último término, poder contar con una evaluación de la rentabilidad social de las medidas de mitigación de un proyecto. Esto implica contrastar los beneficios o aportes de las medidas de mitigación a lo largo del ciclo de vida del proyecto, versus los costos de implementar dichas medidas, lo cual queda resumido en la Ecuación 1:

Ecuación 1

$$VANS_{Total (LC)} = VANS_{Tradicional (PC)} + VANS_{Medidas Mitigación}$$

El $VANS_{tradicional (PC)}$ es el VAN social asociado a la evaluación social de un proyecto convencional, sin medidas de mitigación, o proyecto base, se calcula siguiendo las metodologías tradicionales del MDSF.

Por otro lado, el $VANS_{Medidas de Mitigación}$ corresponde al módulo complementario que se debe agregar a la metodología tradicional, y que está enfocado en evaluar la rentabilidad social por sí sola de las medidas de mitigación del proyecto. En otras palabras, se enfoca en evaluar

(socialmente) los beneficios de las medidas versus los costos de implementar / incluir las medidas de mitigación en el proyecto:

Ecuación 2

$$VANS_{Total(LC)} = VANS_{Tradicional(PC)} + \sum_{t=0}^n \frac{(BS_{t(LC)} - CS_{t(LC)})}{(1+r)^t}$$

Si el segundo componente de la ecuación anterior, referido a la evaluación social de las medidas de mitigación incorporadas en un proyecto, es positivo, eso indicaría que dichas medidas entregan un beneficio social mayor (considerando todo el ciclo de vida del proyecto) que el costo de implementar dichas medidas. Si por el contrario dicho componente fuera negativo, indicaría que, aun existiendo beneficios sociales asociados a las medidas de mitigación, el costo de implementar dichas medidas supera a sus beneficios, indicando que no sería rentable socialmente.

El cálculo del primer componente de la ecuación anterior requiere, necesariamente, aplicar la metodología de evaluación social tradicional del MDSF pero sobre un proyecto base o convencional, sin medidas de mitigación, y luego hacer, complementariamente, la evaluación social de las medidas de mitigación por sí mismas.

Ahora, reescribiendo la ecuación anterior, trasladando los componentes de los costos asociados a las medidas de mitigación hacia el primer término de la ecuación se obtiene la siguiente expresión

Ecuación 3

$$VANS_{Total(LC)} = VANS_{Tradicional(LC)} + \sum_{t=0}^n \frac{BS_{t(LC)}}{(1+r)^t}$$

En este caso, la lectura de la Ecuación 3 significa, en la práctica, que al momento de evaluar el proyecto se incluyen todos los beneficios tradicionales de las metodologías del MDSF en el primer término, y se los contrasta con los costos totales reales del proyecto, sin distinguir los costos de las medidas de mitigación. Luego a ello se le añaden posteriormente sólo los beneficios sociales (asociados a todo el ciclo de vida del proyecto) correspondientes a las medidas de mitigación.

Siendo ambas ecuaciones exactamente equivalentes, la primera (Ecuación 2) permite entender y cuantificar cual es la rentabilidad de un proyecto convencional sin medidas de mitigación, y cuánta rentabilidad le aporta la implementación de las medidas de mitigación.

En tanto, la Ecuación 3, no permite hacer esta distinción, ya que no explicita los costos adicionales de implementar las medidas de mitigación (si es que las hay) en los costos totales del proyecto, y presenta la ventaja de focalizarse en el cálculo de los beneficios adicionales.

Una Explicación Más Detallada De Los Flujos (Y De Atrás Hacia Adelante)

Entonces, ¿cómo se hace la evaluación social de las medidas de mitigación de un proyecto? Es decir, ¿cómo se calcula el segundo componente 2 de la Ecuación 2? Este componente está reflejado en la Ecuación 4, que representa la evaluación social de las medidas de mitigación, traducido como el valor presente neto del diferencial de beneficios de las medidas, versus costos de las medidas.

Ecuación 4

$$\sum_{t=0}^n \frac{(BS_{t(LC)} - CS_{t(LC)})}{(1+r)^t}$$

Para los proyectos contemplados en este estudio, los costos o gastos que se contemplan en las medidas de mitigación (y que se llevan a la evaluación social del proyecto) se circunscriben fundamentalmente acciones durante la etapa de inversión de los proyectos, que en evaluación de inversiones suele contemplarse como el periodo “cero”. Esto significa que el monto de los gastos involucrados en la implementación de estas medidas ya se encuentran a valor presente.

Por su parte, y también para la tipología de proyectos en estudio, los beneficios sociales provenientes de las medidas de mitigación (que se implementan principalmente en la etapa de inversión) se observan en dos momentos principales en el ciclo de vida del proyecto:

1) En la etapa de inversión (periodo cero = t_0)

- contabiliza la reducción de emisiones asociadas a la etapa de producto, al emplearse algunos materiales constructivos principales con una huella de carbono menor, es decir, que emiten menos GEI.
- contabiliza la reducción de emisiones las medidas de mitigación por menores distancias en el traslados de materiales (de todo tipo), lo que conlleva un menor uso de combustibles fósiles, y por lo tanto, menos emisiones de GEI
- considera la reducción de emisiones asociada al uso de maquinaria constructiva (usada in situ) que utiliza tecnología menos contaminante, y por lo tanto que emite menos GEI
- considera la reducción de emisiones durante la construcción, asociada al uso de energía provista desde fuentes menos contaminantes (generador eficiente, energía fotovoltaica o eólica)

En este caso la suma del total de reducción de emisiones (estimadas como un $\Delta CO_{2\text{equi}}$) valorizados por el PSC representa un flujo de beneficios que debiera reducir los montos (costos) asociados a la inversión inicial del proyecto estimada en t_0

- 2) **En la etapa de operación** (periodos 1 a n, siendo n el número de años contemplados en la evaluación social del proyecto de acuerdo a lo establecido en la metodología de evaluación social tradicional para esa tipología de proyectos):
- i) contabiliza las menores emisiones de GEI durante la operación de los proyectos, producto o como efecto de las medidas de mitigación implementadas durante la inversión del proyecto.

Ejemplo de ello son las menores emisiones por uso de electricidad fotovoltaica (por medidas de eficiencia energética implementadas en la etapa de inversión), menores gastos en combustibles, gasto de neumáticos y mantenimiento de automóviles (por uso de materiales constructivos más durables, en el caso de puentes), mayor absorción de CO₂ (en el caso de defensas fluviales o costeras basadas en soluciones naturales) etc.

Tanto en la etapa de inversión como en la etapa de operación del ciclo de vida de los proyectos, estos beneficios sociales se calculan como la valorización de la disminución de la emisión de GEI. Al respecto tres factores importantes:

- 1) La valorización se hace con el Precio Social del Carbono (PSC), el cual se aplica sobre el ahorro de CO₂ equivalente en cada periodo en que se observa dicho ahorro ($t=0, 1, 2, \dots, n$).
- 2) El ahorro debe ser calculado como la diferencia de CO₂ equivalente entre el proyecto que incorpora las medidas y un proyecto convencional que no las incorpora (business as usual).
- 3) Dado que estamos hablando de n periodos, y que debemos considerar el período cero o periodo de inversión, esta valorización debe hacerse en valor presente usando la tasa de descuento social.

Construcción De Flujos En La Evaluación Social Del Proyecto

En un proyecto tradicional o convencional existen las siguientes series de costos de inversión, costos de operación y beneficios o ingresos, todos valorados en precios sociales, además de la generación de emisiones de CO₂ que no se contabilizan, valoran ni se analizan en la evaluación social tradicional (cuarta columna):

	Costos Constructivos (\$)	Beneficios (\$)	Costos Operacionales (\$)	Emisiones (\$)=PSC*(CO ₂ equiv PC)
t=0	Inv			PSC*(CO ₂ equiv Trans+Mat+Maq) PC
t=1		B ₁	C ₁	PSC* (CO ₂ equiv 1) PC
t=2		B ₂	C ₂	PSC* (CO ₂ equiv 2) PC
t=3		B ₃	C ₃	PSC* (CO ₂ equiv 3) PC
t=4		B ₄	C ₄	PSC* (CO ₂ equiv 4) PC
.		.	.	.
.		.	.	.
t=n		B _n	C _n	PSC* (CO ₂ equiv n) PC

Donde

- CO₂equiv Trans+Mat+Maq= representan las emisiones de Co₂ asociadas a la etapa de producto y etapa de construcción (transporte, materialidad, maquinaria, etc)
- CO₂equivn= representa las emisiones de Co₂ que se producen durante la etapa de operación de la infraestructura, hasta el periodo n que es el plazo de la evaluación del proyecto

Al aplicar la metodología tradicional de evaluación social sobre el proyecto base o convencional, sin medidas de mitigación, se tiene la siguiente expresión de la Ecuación 5:

Ecuación 5

$$VANS_{Tradicional(PC)} = -Inv_0 + \frac{B_1 - C_1}{(1+r)^1} + \frac{B_2 - C_2}{(1+r)^2} + \frac{B_3 - C_3}{(1+r)^3} + \dots + \frac{B_n - C_n}{(1+r)^n}$$

Por otra parte, un proyecto con medidas de mitigación pero bajo evaluación social tradicional sin valorización de medidas de mitigación, se tienen las siguientes series, donde tampoco se contabilizan la valorización de la generación de emisiones de CO₂ (cuarta columna).

	Costos Constructivos(\$)	Beneficios (\$)	Costos Operacionales (\$)	Emisiones(\$)=PSC* (CO ₂ equiv LC)
t=0	Inv +MM			PSC*(co ₂ equiv Trans+Mat+Maq) LC
t=1		B ₁	C ₁	PSC*(co ₂ equiv 1) LC
t=2		B ₂	C ₂	PSC*(co ₂ equiv 2) LC
t=3		B ₃	C ₃	PSC*(co ₂ equiv 3) LC
t=4		B ₄	C ₄	PSC*(co ₂ equiv 4) LC
.		.	.	.
.		.	.	.
t=n		B _n	C _n	PSC*(co ₂ equiv n) LC

Así la diferencia entre ambas evaluaciones, que contempla los mismos flujos de beneficios y costos, pero un mayor nivel en el caso de las inversiones en mitigación, necesariamente arrojará un proyecto con menor VANS, lo que queda reflejado en la Ecuación 6 (que dará una cifra necesariamente menor que la Ecuación 5):

Ecuación 6

$$VANS_{Tradicional (LC)} = -Inv_0 - MM + \frac{B_1 - C_1}{(1+r)^1} + \frac{B_2 - C_2}{(1+r)^2} + \frac{B_3 - C_3}{(1+r)^3} + \dots + \frac{B_n - C_n}{(1+r)^n}$$

Ahora, si por el contrario, se consideran los beneficios que conlleva la implementación de las medidas de mitigación, se tiene que la evaluación social del proyecto bajo en carbono que incluye los beneficios sociales por la mitigación es:

Ecuación 7

$$VANS_{proyecto con MM (LC)} = -Inv_0 - MM + \frac{B_1 - C_1}{(1+r)^1} + \frac{B_2 - C_2}{(1+r)^2} + \frac{B_3 - C_3}{(1+r)^3} + \dots + \frac{B_n - C_n}{(1+r)^n} + A_0 + \frac{A_1}{(1+r)^1} + \frac{A_2}{(1+r)^2} + \frac{A_3}{(1+r)^3} + \dots + \frac{A_n}{(1+r)^n}$$

$$\text{Donde } A_n = \text{ahorro GEI } n = PSC * \left(CO_{2 \text{ equiv } PC} - co_{2 \text{ equiv } LC} \right)_n$$

Esta evaluación de las medidas de mitigación corresponderá al valor presente del valor de inversión en medidas de mitigación más los ahorros en mitigación, también en valor presente, tanto en el periodo de construcción como de operación.

Si reorganizamos los términos de la Ecuación 7, vemos que la evaluación social del proyecto bajo en carbono que incluye los beneficios sociales por la mitigación de GEI tiene dos componentes: el VANS tradicional para el proyecto convencional más el VANS de las medidas de mitigación, siendo la Ecuación 7 exactamente igual a la Ecuación 8

Ecuación 8

$$VAN_{\text{proyecto con MM (LC)}} = \left[-Inv_0 + \frac{B_1 - C_1}{(1+r)^1} + \frac{B_2 - C_2}{(1+r)^2} + \frac{B_3 - C_3}{(1+r)^3} + \dots + \frac{B_n - C_n}{(1+r)^n} \right] + \left[-MM_0 + \frac{A_1}{(1+r)^1} + \frac{A_2}{(1+r)^2} + \frac{A_3}{(1+r)^3} + \dots + \frac{A_n}{(1+r)^n} \right]$$

Algo que destaca de la última Ecuación 8 es que, para la evaluación correcta total del proyecto bajo en carbono, la evaluación social (como VAN social) de las medidas de mitigación debe agregarse a la evaluación social tradicional sobre el proyecto convencional (sin medidas de mitigación y sin costos de inversión asociados a medidas de mitigación). Esta evaluación en sí misma de las medidas de mitigación sumará positivamente si el beneficios de las medidas de mitigación supera a los costos de implementar dichas medidas, medido todo en valor presente.

Para el caso de t_0 , que es el periodo de construcción del proyecto, se pueden contabilizar los siguientes beneficios asociados a la mitigación (A_0):

- 1) medidas de mitigación (disminución de emisión de GEI) asociadas a la etapa de producto del proyecto, al emplearse algunos materiales constructivos principales que tienen una huella de carbono menor;
- 2) medidas de mitigación (disminución de emisión de GEI) asociados a menores distancias en el traslado de materiales (de todo tipo) desde la fábrica al lugar de construcción del proyecto, lo que conlleva un menor uso de combustibles fósiles, o bien el traslado de los materiales usando vehículos más eficientes o de mayor rendimiento;
- 3) medidas de mitigación (disminución de emisión GEI) por el uso de maquinaria constructiva in situ con tecnología menos contaminante,
- 4) otros ahorros en emisión de GEI durante etapa de construcción

Los ahorros por disminución de emisiones por materialidad y por el traslados de materiales a la obra queda n reflejados en la Ecuación 9:

Ecuación 9

$$A_{0 \text{ Materiales}} = \left(\sum_k Q_m * FE_m + D_m * FE_v \right) - \left(\sum_k Q_{m'} * FE_{m'} + D'_m * FE_{v'} \right)$$

Donde:

Q_k : cantidad de material constructivo convencional

FE_m : factor de emisión de material constructivo convencional

D_m : distancia de recorrido de los materiales en el proyecto convencional (de la fábrica a la obra)

FE_v : factor de emisión de vehículos utilizados para el transporte de material en proyecto convencional

$Q_{m'}$: cantidad de material constructivo con menor huella de carbono

$FE_{m'}$: factor de emisión de material constructivo con menor huella de carbono

D'_m : distancia de recorrido de los materiales en el proyecto con medidas de mitigación (de la fábrica a la obra)

FE_v' : factor de emisión de vehículos más eficientes en el uso de combustibles utilizados para el transporte de material

Así, de acuerdo a la Ecuación 9, existirán ahorros en la dimensión A_0 , si se utiliza una cantidad relevante de materiales constructivos con menor huella de carbono, si esos materiales tienen una diferencia relevante en cuanto a menores emisiones, si los materiales usados se fabrican en un lugar más cercano al sitio de la construcción del proyecto, o bien si los vehículos que se utilizan para el transporte de estos materiales usan una tecnología más eficiente o menos contaminante.

Por último, otro ahorro relevante en emisiones de GEI que se puede dar durante el periodo de inversión, es al usar maquinarias de construcción más eficientes o con menor uso de combustibles fósiles, lo que queda reflejado en la Ecuación 10

Ecuación 10

$$A_{0 \text{ maquinarias}} = \left(\sum_k H_k * R_k * FE_{comb} \right) - \left(\sum_k H_k' * R_k' * FE_{comb}' \right)$$

Donde:

H_k = horas de uso de maquinaria pesada k proyecto convencional

R_k = Rendimiento de combustible por hora de la maquinaria convencional k

FE_{comb} = Factor de emisión del combustible (usado en maquinaria) en proyecto convencional [kg CO_{2eq}/l]

H_k' = horas de uso de maquinaria pesada k' proyecto con medidas de mitigación

R_k' = Rendimiento de combustible por hora de la maquinaria k' más eficiente

FE_{comb}' = Factor de emisión del combustible (usado en maquinaria eficiente) en proyecto con medidas de mitigación [kg CO_{2eq}/l]

Así, de acuerdo a la Ecuación 10, se producirán ahorros por menores emisiones de GEI en la etapa de inversión del proyecto (A_0), si se utiliza un menor tiempo la maquinaria pesada (por algún proceso innovador), o porque se use una maquinaria de menor consumo de combustibles fósiles (maquinaria más nueva que presente mejor rendimiento), o porque se use maquinaria definitivamente con tecnología menos contaminante.

Por último, los ahorros por eficiencia energética, que se den por el uso de un generador de energía más eficiente o el uso de un sistema fotovoltaico o eólico permitirá un menor consumo de energía durante la etapa de construcción generando un beneficio o ahorro en esta etapa:

Ecuación 11

$$A_{0 \text{ ERNC}} = (Q_{energía} * FE_e) - (Q_{energía} * FE_{e-eficiente})$$

Sin embargo, para el cálculo del ahorro de emisiones durante la fase de uso u operación de estas tipologías de proyecto ($A_1, A_2, \dots$ hasta A_n), estas deberán ser estimadas de manera específica a cada tipología de proyecto. Ello dependerá de cuáles factores o variables de costos, dentro de los considerados por la metodología de evaluación social sectorial específica a cada tipo de proyecto, pueden verse afectados positivamente (es decir disminuir) por la implementación de las anteriores medidas de mitigación.

Por ejemplo, en términos generales se puede afirmar que el uso de Energía Renovable No Convencional como fuente de reemplazo de sistemas de alumbrado tradicional, generará importantes beneficios de ahorro en emisión de GEI durante la fase de uso de algunos proyectos. Así, para los proyectos como puentes, estos ahorros o beneficios en la fase de uso posiblemente pueden sobrepasar a los que se puedan contabilizar por este mismo factor en la fase de construcción, pues son beneficios que se generan durante toda la vida útil del proyecto. En estos casos estos ahorros se deben determinar para cada año de la operación n de la infraestructura de la siguiente manera:

Ecuación 12

$$A_{t\text{ ERNC}} = [(Q_{\text{energía}} * FE_e) - [(Q_{\text{energía}} * FE_{e\text{-eficiente}})]_t]$$

Por otra parte, y también para el caso de los proyectos de puentes, existen medidas de mitigación que tienen efectos en disminuciones de GEI durante toda la fase de operación de los proyectos. En el caso de esta tipología, estos efectos positivos se producen básicamente por ahorros en procesos de mantención y conservación, procesos que al disminuir su frecuencia, por ejemplo por la construcción inicial con materiales más resistentes, conllevan menores emisiones de GEI durante la vida útil de los proyectos. Sin embargo, para poder cuantificar estos ahorros sería necesario ahondar en específico respecto de los actuales procesos de conservación de puentes, en cuanto a las emisiones de GEI asociadas a ello en proyectos convencionales, para luego, basado en literatura internacional, establecer un porcentaje de ahorro de emisiones de GEI en función del tipo de materialidad con mayor duración. Esto debe ser abordado en futuros estudios, pues ello escapa del alcance del presente informe⁴².

Asimismo, otra fuente de disminución de emisiones de GEI durante la fase de uso del proyecto se encuentra en la mayor durabilidad de ciertos materiales de construcción, los cuales, al requerir menor frecuencia de intervenciones para su reparación y mantenimiento, permanecen en buen estado durante una mayor proporción de su vida útil. Esto se traduce en menores interrupciones del servicio y, consecuentemente, en una reducción del gasto de combustible de parte de los usuarios del puente asociado a detenciones o desvíos por obras de mantenimiento, así como menores daños mecánicos por infraestructura en mal estado.

⁴² Cabe señalar, además, que las menores mantenciones asociadas a materialidades de construcción más resistentes, no solo implican ahorros en emisiones de GEI, sino también en costos monetarios directos que deben contabilizarse.

En estos casos, estos ahorros se deben determinar para cada año de operación t del puente (con t de 1 a n), lo que sin embargo solo puede ser transcrito en una expresión muy general, pues ello debe derivarse de modelaciones de flujos vehiculares⁴³

Ecuación 13

$$A_{t \text{ Comb y Neum}} = (V * d * \Delta f_c * FE_c + V * d * \Delta f_n * FE_n)$$

Donde:

Símbolo	Significado	Unidades
$V \cdot d$	Tráfico anual × longitud del tramo	veh·km/año
Δf_c	Reducción en consumo de combustible (situación sin proyecto vs con proyecto)	litros/veh·km
FE_c	Factor de emisión del combustible (CO ₂ equivalente por litro quemado)	kgCO ₂ eq/litro
Δf_n	Reducción en desgaste de neumáticos	unidades/veh·km
FE_n	Emisión equivalente por neumático desgastado (microplásticos + fabricación)	kgCO ₂ eq/unidad
PC_{CO_2}	Precio social del carbono (costo social de emitir 1 kg de CO ₂ eq)	\$/kgCO ₂ eq

Si además el proyecto es un puente nuevo que reemplaza un desvío más largo, el diferencial también incorpora la reducción de distancia (Δd), y la expresión toma la forma:

Ecuación 14

$$A_{t \text{ Comb y Neum}} = V * [\Delta d * (f_c * FE_c + f_n * FE_n) + d * (\Delta f_c * FE_c * d + \Delta f_n * FE_n)]$$

Las estimaciones de reducción en el consumo de combustible (Δf_c) y de neumáticos (Δf_n) deben fundamentarse en referencias técnicas que respalden las diferencias de desempeño entre un proyecto base convencional y el proyecto en análisis, el cual podría incluir, por ejemplo, una carpeta de rodado con materialidad que reduzca la fricción.

⁴³ Tanto d como Δd y V se determinan a través de modelaciones de flujos vehiculares