

Análisis de aplicabilidad de Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) para las obras públicas del MOP

Informe Final



Elaborado para:



Consultoría:

Análisis de aplicabilidad de Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) para las obras públicas del MOP

Cliente:

Banco Interamericano de Desarrollo (BID)

Ministerio de Obras Públicas (MOP)

Dirección: Morandé 59, Santiago de Chile, Chile

Teléfono: (+56-2) 449 4000

<https://www.mop.gob.cl/>

Elaborado por:

DEUMAN

Dirección: Av. Vitacura 2909, Las Condes, Santiago, Chile

Teléfono: +56 2 32247478

www.deuman.com

Dato de contacto:

Nombre: Daniela Vera

Correo: dvera@deuman.com

Lugar y fecha de presentación:

Santiago, 16 de setiembre de 2024

Índice

1.	Introducción.....	9
2.	Objetivos	11
2.1.	Objetivo General.....	11
2.2.	Objetivos específicos	11
3.	Análisis de Vulnerabilidad	12
3.1.	Marco conceptual sobre vulnerabilidad y enfoque metodológico.	12
3.2.	Diagnóstico sobre la vulnerabilidad ante el cambio climático para el sector infraestructura y edificación pública	14
3.2.1.	Amenazas climáticas	15
3.2.2.	Amenazas climáticas por macrozona	17
3.2.3.	Impactos del cambio climático sobre la infraestructura.....	26
3.3.	Indicadores de vulnerabilidad	34
3.3.1.	Factores estáticos	34
3.3.2.	Factores dinámicos.....	36
3.3.3.	Indicadores de vulnerabilidad para servicios de infraestructura y edificación pública sustentable.....	38
4.	Soluciones basadas en la Naturaleza en los servicios de infraestructura y edificación pública ...	45
4.1.	Marco teórico de Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN)	45
4.1.1.	Enfoques de las Soluciones Basadas en la Naturaleza.....	49
4.1.2.	Criterios de las Soluciones Basadas en la Naturaleza	49
4.1.3.	Servicios Ecosistémicos	51
4.2.	Aplicación de Soluciones Basadas en la Naturaleza bajo el enfoque de Infraestructura.....	53
4.2.1.	Benchmarking de experiencias internacionales.....	53
4.2.2.	Análisis crítico de tres experiencias internacionales de SbN: Aprendizajes y brechas.	56
4.2.3.	Experiencias en Chile.....	61
4.3.	Análisis de la gobernanza de las SbN aplicadas a los servicios de infraestructura MOP.....	67

4.3.1.	Marco conceptual: Ámbitos de acción del MOP	67
4.3.2.	Modelos de Gobernanza para la implementación de las SbN	68
4.4.	Caracterización de las SbN aplicables a los servicios de infraestructura	76
4.4.1.	Vulnerabilidad ante el Cambio Climático e impactos asociados a los servicios del MOP 77	
4.4.2.	Soluciones Tradicionales y Soluciones Basadas en la Naturaleza	79
4.4.3.	Banco de alternativas SbN aplicables a los servicios del MOP	81
4.5.	Reflexiones iniciales sobre la integración de SbN en la infraestructura del MOP	101
5.	Brechas, oportunidades y plan de acción para la incorporación de SbN en los servicios de infraestructura.....	106
5.1.	Diagnóstico de brechas y oportunidades para el cumplimiento de las metas por dirección 106	
5.2.	Barreras en la implementación de las SbN.....	113
5.3.	Plan de acción para el cierre de brechas para la incorporación de SbN en los servicios de infraestructura.....	116
6.	Metodología de Evaluación de proyectos SbN.....	124
6.1.	Formulación del Proyecto	126
6.1.1.	Identificación del Problema	126
6.1.2.	Diagnóstico de la Situación Actual	128
6.1.3.	Identificación de Alternativas	134
6.2.	Evaluación de Beneficios Socioambientales.....	143
6.2.1.	Identificación de Beneficios por servicios ecosistémicos	145
6.2.2.	Cuantificación y Valoración de los Beneficios	146
6.3.	Monitoreo y mejora continua	150
6.3.1.	Establecimiento de la Línea Base	150
6.3.2.	Monitoreo continuo y adaptativo	150
7.	Referencias bibliográficas	157

Índice de tablas

Tabla 1. Amenazas climáticas proyectadas en la macrozona norte	18
Tabla 2 Impactos intermedios proyectados en la macrozona norte	19
Tabla 3. Amenazas climáticas proyectadas en la macrozona centro	20
Tabla 4 Impactos intermedios proyectados en la macrozona centro	21
Tabla 5. Amenazas climáticas proyectadas en la macrozona sur.....	22
Tabla 6 Impactos intermedios proyectados en la macrozona sur	23
Tabla 7. Amenazas climáticas proyectadas en la macrozona austral	24
Tabla 8 Impactos intermedios proyectados en la macrozona austral.....	25
Tabla 9. Amenazas climáticas e impactos intermedios por Macrozonas de Chile	26
Tabla 10. Repercusiones de las amenazas climáticas e impactos intermedios sobre la infraestructura	31
Tabla 11. Vulnerabilidad en el servicio de conectividad.....	39
Tabla 12. Capacidad del Drenaje	40
Tabla 13. Indicadores de vulnerabilidad embalses, canales de regadío, defensas fluviales, controles aluvionales y agua potable rural	41
Tabla 14. Indicadores de vulnerabilidad de los planes maestros de lluvia, bordes costeros e incendios	42
Tabla 15. Indicadores de vulnerabilidad del servicio de edificación pública sustentable y resiliente.	43
Tabla 16. Proyectos de infraestructura SbN implementados en Chile	63
Tabla 17. Amenazas climáticas y las infraestructuras con potencial a ser impactadas	78
Tabla 18. Soluciones tradicionales frente a las amenazas	79
Tabla 19. Métodos de clasificación de las SbN y sus categorías.....	82
Tabla 20. Compromisos por Dirección para el cumplimiento de la ECLP en materia de Soluciones Basadas en la Naturaleza	106
Tabla 21. Experiencias e iniciativas de direcciones del MOP relacionadas a Soluciones basadas en la Naturaleza	113
Tabla 22. Barreras y sus factores condicionantes para la implementación de SbN.....	114
Tabla 23. Medidas del plan de acción para la implementación de SbN en proyectos del MOP	118
Tabla 24. Servicios ecosistémicos de interés para el MOP.....	145
Tabla 25. Metas ECLP del MOP y los Servicios Ecosistémicos asociados a estas metas	146
Tabla 26. Beneficios socio-ambientales y metodologías existentes en el SNI para su evaluación ...	147

Tabla 27. Indicadores para la evaluación de beneficios ambientales de las alternativas en evaluación	148
--	-----

Índice de figuras

Figura 1. Componentes del Riesgo Climático	13
Figura 2. Servicios y tipos de infraestructura dentro de las competencias del MOP	14
Figura 3. Conceptos que se enmarcan en las Soluciones basadas en la Naturaleza	46
Figura 4. Enfoques de SbN relacionados a los ecosistemas	49
Figura 5. Criterios que integran el Estándar Global de SbN	51
Figura 6. Tipologías de servicios ecosistémicos	52
Figura 7. Corredores verdes de Medellín, Colombia	58
Figura 8. Estimación de la vulnerabilidad en la cuenca Arenal-Monserrat para implementación de las medidas SbN	60
Figura 9. Dique marítimo de Hondsbossche (línea naranja) antes y después del abastecimiento de arena	61
Figura 10. Diagrama Conceptual de Gobernanza	69
Figura 11. Diagrama Secuencial para la implementación de SbN	70
Figura 12. Estructura Orgánica del Ministerio de Obras Públicas de Chile	71
Figura 13. Metodología para determinar tipologías de SbN para los servicios de infraestructura del MOP.....	81
Figura 14. Propuesta de clasificación de las SbN aplicables a los servicios del MOP	83
Figura 15. Ejes transversales al Plan de Acción	116
Figura 16. Metodología para la formulación y evaluación de proyectos SbN	125
Figura 17. Emplazamiento del Sistema San Francisco.....	127
Figura 18. Borde lacustre de la ciudad de Puerto Octay	128
Figura 19. Página principal del Banco de SbN.....	137
Figura 20. Página de Descripciones de las iniciativas del Banco de SbN	138
Figura 21. Vista en terreno del sector destinado para los jardines de lluvia del Cordón Verde Santiago	141
Figura 22. Obras en el borde Lacustre de Puerto Octay.....	143
Figura 23. Beneficios asociados a la implementación de áreas de bioretención	152

Siglas y acrónimos

BALI	Base de licitaciones
CChC	Cámara Chilena de la Construcción
CES	Certificación Edificio Sustentable
ECLP	Estrategia Climática de Largo Plazo
GEI	Gases de efecto Invernadero
IPCC	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático
SbN	Soluciones Basadas en la Naturaleza
UNDRR	Oficina de las Naciones Unidas para la reducción del riesgo de desastre
MDSyF	Ministerio de Desarrollo Social y Familia
MINVU	Ministerio de Vivienda y Urbanismo
MOP	Ministerio de Obras Públicas
MMA	Ministerio del Medio Ambiente
UNEP	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente

1. Introducción

Según el IPCC, el cambio climático se define como la variación de los valores medios o propiedades del clima en periodos largos, causada por procesos internos naturales o forzamientos externos, incluidos los cambios antropogénicos (IPCC, 2013). Estos últimos, principalmente derivados de las emisiones de gases de efecto invernadero por la quema de combustibles fósiles, contribuyen al calentamiento global. Sus efectos son globales e incluyen desde variaciones en los patrones meteorológicos que amenazan la producción de alimentos hasta el aumento del nivel del mar, que incrementa el riesgo de inundaciones catastróficas (Nations, s. f.).

En el marco de este contexto global, en 2015 durante la COP 21, las 196 partes, incluido Chile, adoptaron el Acuerdo de París, en el marco del cual se desarrolló la Estrategia Climática de Largo Plazo (ECLP) de Chile (*El Acuerdo de París*, s. f.). Esta establece la hoja de ruta para lograr la carbono neutralidad y la resiliencia climática en las próximas décadas. La ECLP se basa en cinco fundamentos: gobernanza climática, costo efectividad, pilar social, soluciones basadas en la naturaleza y base científica (Gobierno de Chile, 2021). En consonancia con estos principios, Chile ha establecido metas en materia de Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN) como parte integral de su estrategia climática nacional. Esta estrategia establece objetivos y metas divididos por sectores que involucran a diferentes ministerios, incluido el Ministerio de Obras Públicas (MOP).

En este contexto, el Ministerio de Obras Públicas (MOP) solicita el servicio de consultoría para la "Actualización del Plan de Adaptación y Mitigación de los servicios de infraestructura al Cambio Climático 2017-2022", el cual busca integrar el enfoque de Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN), a través de un análisis de su aplicabilidad para las obras públicas del MOP. La incorporación de SbN busca no solo adaptar las infraestructuras a los efectos del cambio climático, sino también aprovechar los beneficios socioambientales que los ecosistemas pueden proporcionar al funcionamiento y sostenibilidad de estas obras.

El objetivo principal del estudio es proponer lineamientos y estándares metodológicos que permitan al MOP implementar de manera efectiva SbN en la edificación pública y la infraestructura, cumpliendo así con las metas establecidas en los instrumentos de gestión del cambio climático. Estos lineamientos contribuirán a fortalecer la capacidad del Ministerio para diseñar e implementar proyectos que no solo sean técnicamente viables, sino también ambientalmente sostenibles y resilientes frente a los desafíos climáticos futuros.

El estudio se centrará en analizar la aplicabilidad de las SbN en tres categorías principales de servicios de infraestructura gestionados por el MOP: conectividad, protección del territorio y edificación pública sustentable. Esta delimitación del alcance del estudio permite identificar de una mejor manera las oportunidades en las cuáles las SbN podrían integrarse de manera eficaz. Cada una de estas categorías incluye los siguientes tipos de infraestructuras:

- Conectividad: caminos y carreteras, puentes, aeropuertos, puertos.
- Protección del territorio: embalses, canales de regadío, control aluvial y defensas fluviales, agua potable rural, infraestructura de agua de lluvia, bordes costeros.
- Edificación pública sustentable: hospitales, cárceles y edificios públicos.

La ECLP define a las Soluciones basadas en la Naturaleza como aquellas “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 contribuyen al desarrollo sustentable entregando bienestar a los seres humanos y beneficios a la biodiversidad” (Gobierno de Chile, 2021).

Asimismo, como parte de la consultoría, se construyó una definición específica de las SbN dentro del ámbito de las competencias del MOP. Por lo cual, en el presente estudio las SbN se entienden como **“acciones que emplean enfoques y prácticas que utilizan procesos y elementos naturales para diseñar e implementar infraestructuras y edificaciones sostenibles”**. Estas acciones integran prácticas y tecnologías que promueven la sostenibilidad ambiental, la resiliencia y la eficiencia en la planificación, diseño, construcción y gestión de obras públicas, contribuyendo así al desarrollo territorial sostenible.

El presente informe presenta los resultados de la consultoría a través de cuatro capítulos centrales.

El primer capítulo corresponde al análisis de la vulnerabilidad de las infraestructuras y edificaciones públicas del MOP ante el cambio climático a través de una revisión sistemática de la bibliografía disponible, abordando las amenazas climáticas en las cuatro macrozonas del país (Norte, Centro, Sur y Austral) y los indicadores de vulnerabilidad para los servicios del MOP.

El segundo capítulo examina el estado actual de las SbN abordando temas como conceptos claves, beneficios de las soluciones basadas en la naturaleza, experiencias nacionales e internacionales. Asimismo, en este capítulo se presenta un análisis de la gobernanza y las competencias del MOP en torno a la aplicación de SbN. La información del estado actual y la gobernanza es utilizada para la elaboración de un banco de soluciones basadas en la naturaleza aplicables a los servicios del MOP, una matriz interactiva que relaciona las amenazas climáticas identificadas, los impactos de estas amenazas en las infraestructuras públicas, las soluciones tradicionales para contrarrestar el impacto y las alternativas de soluciones SbN aplicables al impacto identificado.

El tercer capítulo inicia con la revisión de los compromisos de la ECLP para una identificación preliminar de las brechas de las direcciones en su cumplimiento según el progreso actual. En base a ello y la información recopilada en entrevistas y talleres, se presenta una síntesis del análisis de las brechas y oportunidades para que estas soluciones basadas en la naturaleza sean aplicadas a los servicios de infraestructura, así como el desarrollo de un plan de acción para el cierre de las brechas identificadas.

Finalmente, en el cuarto capítulo se desarrolla la formulación de una guía metodológica complementaria a las evaluaciones convencionales del SNI, que permita incluir en el análisis de los proyectos el factor de riesgo climático y beneficios por servicios ecosistémicos derivados de proyectos SbN. Esta etapa incluye dos casos prácticos de la aplicación de la metodología propuesta.

2. Objetivos

2.1. Objetivo General

Proponer lineamientos y estándares metodológicos que permitan al Ministerio de Obras Públicas implementar Soluciones basadas en la Naturaleza en edificación pública e Infraestructura y cumplir las metas comprometidas en los instrumentos de gestión del cambio climático.

2.2. Objetivos específicos

- Caracterizar las vulnerabilidades del sector infraestructura y edificación pública al cambio climático.
- Diagnosticar el estado del arte actual en materias de Soluciones basadas en la Naturaleza a nivel internacional, nacional e institucional de los Servicios de infraestructura y edificación pública del Ministerio de Obras Públicas
- Analizar, estableciendo un marco de gobernanza, las Soluciones basadas en la Naturaleza que corresponden a cada uno de los servicios MOP y las que pueden potencialmente propiciarse desde este Ministerio, en un marco de adaptación y/o mitigación al Cambio Climático
- Proponer metodologías y recomendaciones que permitan evaluar la factibilidad de proyectos con Soluciones basadas en la Naturaleza, su implementación gradual y la resolución de las brechas institucionales detectadas, estableciendo indicadores de eficiencia y/o eficacia para medir avances y cumplimiento de compromisos y metas.

3. Análisis de Vulnerabilidad

En este capítulo se presenta una síntesis de la bibliografía disponible sobre los análisis de vulnerabilidad de la infraestructura ante el Cambio Climático desarrollados hasta el momento, así como una propuesta de un conjunto de indicadores de vulnerabilidad ante el Cambio Climático.

3.1. Marco conceptual sobre vulnerabilidad y enfoque metodológico.

En primer lugar, es necesario establecer el concepto de vulnerabilidad considerado para el desarrollo del presente informe. La vulnerabilidad, además de ser un componente del riesgo, es un foco importante por sí misma. Según el Sexto Informe de Evaluación (IE6) del IPCC, el enfoque para evaluar y analizar la vulnerabilidad ha evolucionado. Inicialmente se centraba en aspectos físicos y ambientales, pero con el tiempo ha incorporado factores sociales y contextuales que influyen significativamente en la vulnerabilidad. Aunque este enfoque aún no se aplica de manera uniforme en todos los casos, hoy se reconoce ampliamente que la vulnerabilidad varía entre comunidades, sociedades y cambia con el tiempo (Change, 2022).

La Guía para la elaboración de Planes Sectoriales para la Adaptación, define al riesgo climático como: “(...) la probabilidad de ocurrencia de impactos sobre un territorio, y en los sistemas sociales y naturales que lo integran, producto de eventos o tendencias climáticas, así como de las acciones de respuesta humanas ante las mismas” (MMA, s. f., p. 6). Se obtiene como resultado de tres factores de riesgo, los cuales son: amenaza, exposición y vulnerabilidad.

- **Se entiende como amenaza o peligro** a cualquier condición climática cuya potencial ocurrencia pueda resultar en pérdidas de vidas, accidentes y otros impactos en la salud, así como en pérdidas de propiedad, infraestructura, medios de subsistencia, provisión de servicios, ecosistemas y recursos medioambientales (Pica-Téllez et al., 2020). Este puede presentarse como un **evento climático** o un **impacto físico directo**. No necesariamente un evento extremo, sino que puede ser también una tendencia de inicio lento. Asimismo, en el marco de una evaluación del riesgo climático, se considera una **señal climática externa** que no está vinculada ni a la exposición ni a la vulnerabilidad, y que no puede ser influenciada por la adaptación u otras medidas destinadas a mitigar los daños y pérdidas relacionadas con el clima (GIZ & EURAC, 2017).
- **La exposición se refiere** a la presencia de personas, medios de subsistencia, servicios, recursos ambientales, infraestructura, o activos económicos, sociales o culturales, en áreas que puedan ser afectadas negativamente (Pica-Téllez et al., 2020).

La medida de esta exposición puede expresarse mediante números absolutos, densidades o proporciones de los elementos en riesgo, como densidad de población en un área afectada por sequía. Asimismo, los cambios en la exposición a lo largo del tiempo pueden tener un impacto significativo en el riesgo (GIZ & EURAC, 2017).

- Finalmente, **la vulnerabilidad** se basa en la propensión o predisposición de un elemento expuesto a ser afectado negativamente. Esta comprende una variedad de conceptos y elementos que incluyen la “sensibilidad o susceptibilidad al daño”, determinada por todos los factores no climáticos que afectan directamente las consecuencias de un evento climático, que

incluye atributos físicos, sociales, económicos y culturales, y la falta de “capacidad de respuesta y adaptación” para abordar y superar las condiciones adversas. Aborda aquellos atributos relevantes de los elementos expuestos, y del sistema en el que están insertos, que pueden incrementar (o disminuir) las consecuencias potenciales de un peligro climático específico (GIZ & EURAC, 2017; MMA, s. f.).

A diferencia de los tres componentes del riesgo, los **impactos intermedios** no constituyen por sí mismos un componente de riesgo. Más bien, actúan como una herramienta auxiliar que facilita una comprensión más completa de la cadena de causa-efecto que conduce al riesgo. Por definición, los impactos intermedios resultan de la interacción entre los factores de peligro y la vulnerabilidad, lo que significa que su aparición no depende únicamente de la señal climática, sino también de uno o varios factores de vulnerabilidad (GIZ & EURAC, 2017).

Para analizar y priorizar estos factores de riesgo en un sistema determinado, se emplea la herramienta denominada "cadena de impacto" (ver Figura 1). De acuerdo con el Quinto Informe de Evaluación (IE5) del IPCC, los impactos son elementos básicos para elaborar cadenas de causa-efecto que conecta la amenaza con el riesgo. Esta aproximación indica que, entre una amenaza y su resultado final (riesgo), suele existir una serie de impactos intermedios que deben ser considerados.

Figura 1. Componentes del Riesgo Climático



Fuente: Adaptado de (GIZ & EURAC, 2017; PNUD, 2023)

Teniendo en consideración la definición provista para realizar la revisión bibliográfica fue relevante delimitar los riesgos en los cuáles se centra el presente estudio, es decir, identificar **i) los tipos de amenaza e impactos climáticos que llevan a los riesgos** y **ii) quién o qué está en riesgo**.

Con respecto al punto ii) quién o qué está en riesgo, se acordó en conjunto con el MOP, realizar la evaluación para tres servicios de infraestructura:

- **Conectividad:** este servicio engloba una variedad de elementos vitales, que van desde carreteras y caminos hasta puentes e infraestructura terrestre-aérea y portuaria de conectividad (lacustre, marítima y fluvial). Su importancia radica en su papel fundamental para la integración y el desarrollo económico y social de las regiones, permitiendo el acceso fluido a servicios, mercados y oportunidades.
- **Protección del territorio frente a eventos extremos:** comprende los embalses, canales de riego, control aluvional y defensa fluvial, agua potable rural, infraestructura de aguas de lluvia, infraestructura de borde costero y protección contra incendios.
- **Edificación pública sustentable y resiliente:** comprende hospitales, cárceles, edificios públicos de oficina, liceos, escuelas, jardines infantiles, comisarías, edificios de la PDI, estadios deportivos y polideportivos, edificios de fiscalía, contraloría, etc.

Figura 2. Servicios y tipos de infraestructura dentro de las competencias del MOP



Fuente: Elaboración propia

Una vez definidos los sistemas expuestos al riesgo, **las amenazas y los impactos climáticos fueron motivo de revisión bibliográfica**, presentada en el capítulo siguiente. Considerando que las amenazas y los impactos climáticos son altamente dependientes de las condiciones territoriales, fue necesario realizar una definición final respecto de la escala del análisis. En ese sentido, se acordó con el MOP realizar la revisión a escala de macrozona, según se explica en el capítulo siguiente.

3.2. Diagnóstico sobre la vulnerabilidad ante el cambio climático para el sector infraestructura y edificación pública

Según la definición empleada por el Atlas del Agua de la Dirección General de Aguas, Chile se divide en cuatro macrozonas diferenciadas por sus condiciones geográficas y climáticas dadas por la

diferencia latitudinal entre estas: Norte, Centro, Sur y Austral. Esta división en macrozonas permite una mejor comprensión y gestión de las diversas características y necesidades de cada región (Dirección General de Aguas, 2015).

Las amenazas presentadas han sido recopiladas a partir de la revisión de distintas fuentes incluyendo el Atlas de Riesgos Climáticos de Chile (ARClím), la base de datos internacional sobre catástrofes (EM-DAT), entre otras. Asimismo, en este capítulo se presentan los impactos registrados como consecuencia de dichas amenazas para los tres servicios de infraestructura ofrecidos por el MOP.

3.2.1. Amenazas climáticas e impactos intermedios

Para los propósitos de este informe, se usa de referencia exclusivamente un tipo específico de amenazas las cuales se denominan “**Amenazas climáticas**”. Estas se entenderán como aquellas amenazas relacionadas con los cambios en el clima y los fenómenos meteorológicos extremos influenciados por el cambio climático, que pueden tener impactos significativos en el medio ambiente, la infraestructura y las comunidades humanas.

Antes de profundizar en las amenazas e impactos intermedios identificados por macrozona, es esencial establecer sus definiciones conceptuales. A continuación, se describen los principales conceptos relacionados, que tienen repercusiones en la infraestructura del territorio chileno y que serán objeto de análisis en las secciones posteriores.

Amenazas climáticas

- **Altas temperaturas/ Altas temperaturas extremas:** Corresponden a altas temperaturas que por lo general superan umbrales de temperaturas máximas que puede durar desde 1 a más días. Cuando las temperaturas máximas diarias superan un umbral extremo (percentil 90) diario de una estación meteorológica por 3 a más días consecutivos se denomina **ola de calor**¹ (Anexo Plan Nacional de Emergencia – Amenaza Calor Extremo, 2023).
- **Olas de frío:** Evento que se produce cuando la temperatura mínima diaria es inferior al umbral diario climatológico por tres o más días consecutivos (DGAC, s. f.). Cuando la temperatura del aire a 1,50 m del suelo desciende a un valor igual o inferior a 0 °C esta se denomina **helada meteorológica**² (Bravo H. et al., 2020).
- **Tormenta subtropical /Ciclón subtropical:** Se denomina al ciclón que se forma en latitudes medias y altas, que tiene las características de un ciclón tropical en los niveles bajos y de un ciclón extratropical en los niveles altos; es decir, presenta un núcleo cálido debajo de un núcleo frío (Gálvez, s. f.).

¹ Para el presente estudio se considerará el índice climático de ARClím “Olas de calor > 30°C” en donde la temperatura máxima diaria supera 30°C.

² Se evaluará según el índice climático de ARClím “días de hielo” que cuantifica el número de días en que la temperatura máxima es menor que 0°C

- **Tormenta de arena:** Vientos fuertes que llevan partículas de arena a distancias de menos de 15 metros, especialmente común en zonas áridas y semiáridas (*EM-DAT Documentation*, 2023).
- **Tormentas de nieve:** Sistema de baja presión en los meses de invierno con acumulaciones significativas de nieve, lluvia helada, aguanieve o hielo. Se califica como severa cuando la velocidad del viento supera los 56 km/h por 3 o 4 horas, reduciendo la visibilidad a menos de 400 m (*EM-DAT Documentation*, 2023).
- **Aumento del nivel del mar:** Es un evento de evolución lenta referida al aumento del nivel de los océanos ocasionado principalmente por el calentamiento global, pero, el **derretimiento de los glaciares** y capas de hielo pueden llegar a ser causas más significativas en el futuro. Sus efectos directos incluyen inundaciones, erosión costera, incremento de salinidad en estuarios y acuíferos (Siclarí Bravo, 2020).
- **Sequías:** Se refiere a un período prolongado de precipitaciones inusualmente bajas que resulta en una **escasez de agua** para personas, animales y plantas. Se desarrolla lentamente y su aparición puede ser difícil de detectar (Kit de herramientas de resiliencia climática de EE. UU., s. f.).
- **Vaciamiento de lagos glaciales (GLOF en inglés):** Son inundaciones que ocurren cuando el agua retenida por un glaciar o una morrena se libera repentinamente. Los lagos glaciares pueden estar en la parte frontal del glaciar (lago marginal) o debajo de la capa de hielo (lago subglacial) (*EM-DAT Documentation*, 2023).
- **Marejadas:** Es un oleaje que se manifiesta en las zonas costeras, a causa del viento local o generado en otro lugar del océano, cuyas olas pueden viajar cientos o miles de kilómetros. Se califican como “anormales” cuando tiene características diferentes a los valores promedio de oleaje (altura³, dirección, período) (SENAPRED, 2021).
- **Tornado:** Es una columna de aire que gira violentamente y que llega al suelo o al agua abierta, siendo en este último denominado **tromba marina** (*EM-DAT Documentation*, 2023).
- **Acidificación del océano:** Se refiere a una reducción del pH del océano durante un período prolongado, causada principalmente por la absorción de dióxido de carbono (CO₂) de la atmósfera, el cual a través de una serie de reacciones químicas incrementa la concentración de iones hidrógeno incrementando su acidez. Sus efectos están relacionados principalmente con la afectación a los ecosistemas marinos (US Department of Commerce, s. f.).
- **Viento fuerte:** Según la escala de Beaufort se denomina viento fuerte cuando se llega a velocidades entre 50 a 61 km/h. Durante este evento se hace dificultoso caminar contra y se mueven los árboles grandes y el mar presenta espuma arrastrada por la potencia del viento (¿Qué es el viento?, 2023; Sepúlveda, 2021). Su origen puede estar relacionado a la presencia de **sistemas frontales**.
- **Precipitaciones intensas:** La precipitación se define como la caída de agua líquida o cristales de hielo desde una nube hacia la superficie terrestre. Puede clasificarse según su origen en

³ Para su evaluación se considerará el límite operacional de altura significativa del oleaje de 1.5 m

ciclónica, convectiva y orográfica. La precipitación ciclónica ocurre en áreas con **sistemas frontales** predominantes. La convectiva requiere condiciones de inestabilidad atmosférica y humedad para que el aire alcance su nivel de condensación. La precipitación orográfica está asociada al Efecto Foehn, donde la lluvia se concentra en el lado de barlovento de una montaña, mientras que el lado de sotavento experimenta menos precipitaciones debido a la subsidencia del aire (Campos Caba, 2020). Un caso particular es el denominado **invierno altiplánico/ invierno boliviano** que se origina producto del calentamiento de los Andes centrales (entre latitudes 15-25°S) que durante las tardes produce brisas valle-montaña sobre sus dos laderas. Durante los meses de verano, entre diciembre y marzo, el desarrollo del **Alta de Bolivia** favorece la brisa del Este, que contiene mucha más humedad, la cual, al ser capaz de alcanzar el Altiplano, por solo una decena de días, puede conllevar a tormentas intensas y convectivas traducidas en grandes precipitaciones (Garreaud, 2020). En este estudio, con precipitación intensa, se hará referencia a aquella precipitación diaria que supera los 10 mm.

Impactos intermedios

- **Erosión del suelo:** Es un evento de evolución lenta donde se pierde o destruye las capas del terreno por la acción única o combinada de los vientos, movimiento del agua o por la acción directa de las lluvias. Existen dos clases: erosión natural o geológica y erosión acelerada ocasionada por el hombre (Biblioteca Nacional de Chile, s. f.).
- **Erosión costera:** La pérdida o desplazamiento de sedimentos costeros debido a los impactos de tormentas, fuertes olas, mareas, inundaciones y/o actividades humanas (García, 2021).
- **Remoción en Masa:** Utilizado para describir los movimientos de la superficie de la tierra que genera el transporte descendente de material, ya sea roca, suelo, vegetación u otros, o una combinación de ellas. Algunos son: deslizamiento multirrotacional de suelo, deslizamiento de rocas, depósito de flujo en forma de abanico, **aluviones** (SERNAGEOMIN, s. f.).
- **Inundación:** Ocurre cuando el agua cubre un área que normalmente no está cubierta. Pueden ser de tres tipos: **i) De lenta aparición**, puede tardar días, semanas o meses en cubrir el área. Pudiendo afectar cosechas, carreteras, zonas pequeñas; **ii) De rápida aparición**, generadas en un corto tiempo y ocasionan más daños a las construcciones y personas; **iii) Repentinas**, generan la mayor amenaza y provoca cuantiosos daños a la infraestructura (Siclarí Bravo, 2020).
- **Incendios:** Ocurrencia de fuego no controlado que afecta algo que no está destinado a quemarse, que puede expresarse como **incendio forestal o urbano** (Siclarí Bravo, 2020).

3.2.2. Amenazas climáticas e impactos intermedios por macrozona

Macrozona Norte

La Macrozona Norte abarca las regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá, Antofagasta, Atacama y Coquimbo. La parte norte de Chile alberga el Desierto de Atacama, considerado uno de los desiertos más áridos del mundo. Las temperaturas en esta área pueden ser extremadamente altas durante el día y muy bajas durante la noche debido a la falta de humedad y nubes que permitan retener el calor. Posee un clima desértico y semiárido hasta aproximadamente la región de Atacama, con poca precipitación y una gran amplitud térmica. Al ser un área desértica hay escasez de humedad y fuertes

vientos que aumentan la sensación de sequedad y contribuyen a la erosión del suelo. De forma particular se caracteriza por una abundante nubosidad costera, denominada “camanchaca”, por Influencia de la Corriente de Humboldt, y bajos índices de humedad relativa (BCN, s. f.). Presenta una transición climática y vegetacional, entre zona desértica y mediterránea, característico de la región de Coquimbo. Asimismo, en esta última se da una transición entre la zona altiplánica y la Cordillera de Los Andes, por lo que cuenta con la mayor presencia de valles inter-montanos de toda la macrozona (Barrenechea Riveros, 2020).

La siguiente tabla sintetiza las proyecciones de las principales amenazas del cambio climático para la infraestructura en la macrozona norte.

Tabla 1. Amenazas climáticas proyectadas en la macrozona norte

Amenaza	Proyección
Sequías	Bajo una proyección climática (2035-2065), la frecuencia de sequías se proyecta de forma desigual en toda la macrozona. Se prevé una disminución en las regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá y Antofagasta; mientras que, se incrementará entre el 5,8% y 14,5% en las regiones de Atacama y Coquimbo, respectivamente.
Heladas	Los episodios de heladas predominan en las zonas montañosas. Las regiones con mayor cantidad de días de heladas son: Antofagasta con 3,33 días al año, Atacama con 10,18 días al año y Coquimbo con 9,75 días al año; mientras que en las regiones más al norte, estos eventos no superan una unidad al año. No se pronostica un incremento de heladas para el período 2035-2065.
Altas temperaturas	Se espera un notable aumento en los episodios de altas temperaturas. Estos episodios, que anteriormente rondaban los 37 días al año, serán uniformes en todo el territorio chileno y se proyecta que alcancen extremos entre 112 y 228 días. Esta tendencia disminuye de norte a sur.
Olas de calor	Se prevé un aumento en toda la macrozona, aunque de manera diferenciada entre sus regiones. Se proyecta que las regiones de Tarapacá y Antofagasta experimentarán el mayor incremento en la incidencia de olas de calor, pasando de 7 a más de 20 días al año, convirtiéndose así en las regiones con el mayor aumento de olas de calor en todo el territorio chileno. Les siguen las regiones de Coquimbo y Atacama, donde la frecuencia pasaría de menos de 1 día a más de 2. Finalmente, la región de Arica y Parinacota muestra el menor incremento, con solo 0,17 días adicionales en comparación con su usual escasa presencia de olas de calor al año.
Precipitación intensa	Se proyecta aumentar de forma poco significativa en ciertas regiones, mientras que en otras disminuirá. Por ejemplo, la región de Coquimbo, que en la actualidad experimenta 6 días de precipitación intensa al año, pasará a tener casi 5 días. Por otro lado, en la región de Atacama, los días de precipitación intensa se mantendrán prácticamente invariables. Para las regiones restantes, los valores habituales de menos de un día aumentarán a poco más de un día. De manera particular, en esta macrozona ocurre un fenómeno singular conocido como "Invierno altiplánico", que se manifiesta específicamente en el altiplano chileno (zona cordillerana de las regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá, y Antofagasta, con elevaciones sobre los 3500 m.s.n.m). Este fenómeno ha mostrado una variabilidad considerable, desde precipitaciones intensas hasta escasas. Sin embargo, los datos climáticos no revelan una tendencia marcada a largo plazo que permita proyectar las condiciones futuras con certeza (Jara Parra, 2023).
Tormentas de arena	Las tormentas de arena o polvo tienden a suceder en esta macrozona, especialmente en las regiones de Antofagasta, Atacama, Arica y Parinacota («Anexo», 2024). Si bien no existe un

	análisis específico de la proyección de este evento, es sabido que actividades como la deforestación, el pastoreo excesivo y el uso intensivo del agua, están contribuyendo a la expansión de los desiertos y aumentando la probabilidad de tormentas de arena y polvo. Combinado con el aumento de las sequías y temperaturas extremas se exacerban estos fenómenos (UN Environment Program, 2023).
Marejadas	La proyección de la marejada, evaluada a través de las estadísticas de oleaje para una proyección climática (2035-2065), señala un incremento poco variable en todo su territorio. Llegando a valores máximos del 40% y 20% en Antofagasta y Tarapacá, respectivamente. Mientras que en las demás regiones no se supera el 1%.
Aumento del nivel del mar	Se proyecta un incremento del nivel del mar, expresado en el cambio de la cota de inundación respecto a sus valores históricos, en toda la macrozona, con una probabilidad que parte de 0,78 en Tarapacá hasta una probabilidad máxima de 0,89 en Coquimbo.
Vientos fuertes	Se proyecta que los vientos fuertes experimenten variaciones a lo largo de todo el territorio. Estos vientos tienden a concentrarse en las zonas cercanas a la cordillera, y mientras aumentarán en algunas regiones, disminuirán en otras. Por ejemplo, se espera un incremento de los vientos fuertes en las regiones de Atacama y Antofagasta, mientras que, en Arica y Parinacota y Tarapacá, se pronostica una disminución.

La siguiente tabla presenta los impactos intermedios identificados en la macrozona norte.

Tabla 2 Impactos intermedios proyectados en la macrozona norte

Impacto	Proyección
Remoción en masa	Sobre un análisis histórico desde 1912 al 2017, se observa que los eventos de remoción en masa, particularmente aluviones, son una característica distintiva de esta macrozona. Durante este período, se registraron un total de 60 episodios, con la región de Antofagasta liderando con 29 eventos. Por otro lado, las regiones de Arica y Parinacota, así como Coquimbo, experimentaron 3 y 4 eventos respectivamente. Estos eventos suelen estar relacionados principalmente con precipitaciones extremas (ERIDANUS, 2018). Bajo proyecciones de cambio climático del 2030 - 2060 un estudio cuantifica la ocurrencia de crecidas de origen pluvial que puedan desencadenar en un aluvión para la cuenca de los ríos Tránsito y Carmen, región de Atacama. Se estima un incremento de la cota de la isoterma 0°C cercana a los 400 m.s.n.m., lo que genera un aumento del área pluvial aportante (material no consolidado) en 98 km ² (Molina Tapia, 2019).
Inundaciones	Durante un periodo de análisis, que abarca desde 1912 hasta 2017, se registraron un total de 309 eventos de inundaciones. La región de Antofagasta encabeza el registro con 85 casos, seguida por Coquimbo y Arica y Parinacota con 67 y 64 eventos, respectivamente. Por otro lado, la región de Tarapacá registró la menor incidencia, con 37 eventos (ERIDANUS, 2018). Asimismo, considerando el valor de las lluvias diarias, bajo una proyección climática del 2035 a 2065 se prevé un aumento desigual de los episodios de inundaciones en toda la macrozona. Se espera que las regiones de Tarapacá y Antofagasta experimenten el mayor incremento, con un aumento de más del 25%. Le sigue la región de Arica y Parinacota, con un incremento cercano al 20%. En contraste, las que presentarán menor incremento son las regiones de Atacama y Coquimbo, con 12% y 2,5% de incremento, respectivamente.
Erosión del suelo	Según el estudio de CIREN (2010), más del 60% de la superficie de la macrozona presenta suelos con erosión severa y muy severa, atribuida principalmente a la erosión geológica y natural. Se proyecta que esta cifra aumente, alcanzando cerca del 70% de la superficie total.

Erosión costera⁴	La erosión costera proyecta un incremento desde valores muy bajos que rondan el 2% hasta valores muy altos que rondan el 39%.
------------------------------------	---

Macrozona Centro

La Macrozona Centro abarca las regiones de Valparaíso, Metropolitana, O'Higgins y Maule. Se caracteriza por los climas de tipo templado. Se identifican tipos de clima esteparios, mediterráneos, así como el clima de Hielo de Altura sobre los 3000 m.s.n.m., donde las temperaturas descienden considerablemente y las precipitaciones son mayormente en forma de nieve, con algunas zonas de nieve perpetua. La temporada de lluvias se da durante el invierno y sus precipitaciones se incrementan de norte a sur. Presenta una gran superficie montañosa con grandes pendientes, así como de valles y mesetas (Barrenechea Riveros, 2020; Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia - CR2, s. f.).

La siguiente tabla sintetiza las proyecciones de las principales amenazas del cambio climático para la infraestructura en la macrozona centro.

Tabla 3. Amenazas climáticas proyectadas en la macrozona centro

Amenaza	Proyección
Sequías	Bajo la proyección climática para el período 2035-2065, se observa un aumento significativo en la frecuencia de sequías en la macrozona con respecto a los valores históricos de 1980-2010. Este incremento se manifiesta de manera progresiva desde el norte hacia el sur, con un rango entre el 18,3% y el 21,4%.
Heladas	En esta macrozona las heladas son más recurrentes, con un promedio de 9,76 días de heladas al año. Siendo la región de Maule la de menor incidencia con 3,16 días/año; mientras que la Región Metropolitana presenta la mayor frecuencia con 19,78 días/año. No se pronostica un incremento de heladas para el período 2035-2065.
Altas temperaturas	Se espera un aumento en los episodios de altas temperaturas, con valores que rondaban los 37 días al año y que llegarán a extremos entre 89 y 102 días, disminuyendo de norte a sur.
Olas de calor	Se proyecta un aumento significativo de las olas de calor en la macrozona. Las regiones Metropolitana y O'Higgins experimentarán un incremento de más de 10 días, superando los 19 días de olas de calor en ambas regiones. Le sigue la región del Maule, donde se espera un aumento de más del doble de los días de olas de calor, alcanzando valores de hasta 16,8 días. Por último, la región de Valparaíso pasará de tener 1,3 a 4,4 días con olas de calor al año.
Precipitación intensa	La precipitación intensa disminuirá para toda la macrozona. Se espera que pase de un promedio de 23 días de precipitaciones intensas al año a 19 días. Asimismo, la región de Maule seguirá siendo la que tenga el mayor número de días de precipitación intensa, con casi 30 días al año.
Tormentas de nieve	Los episodios de tormentas de nieve están estrechamente relacionados con la precipitación de nieve. En ese sentido, al considerar como índice la nieve máxima diaria, esta macrozona se

⁴ Si bien la erosión costera está comprendida dentro de la erosión del suelo, se cree relevante desagregar la erosión en las costas cuando este sea particularmente significativo en la macrozona

	destaca por presentar los mayores valores de nieve, incluso superando a la macrozona austral. Los valores oscilan entre 8 mm y 22 mm. Sin embargo, según las proyecciones climáticas para el período del 2035 a 2065, se anticipa una disminución en toda la macrozona. A pesar de esta reducción, seguirá siendo la macrozona con mayor incidencia de este evento en comparación con las otras, alcanzando valores de hasta 17,8 mm en la región Metropolitana.
Marejadas	La proyección de la marejada (2035-2065), indica un incremento significativo en una región en particular, la Región de Valparaíso, donde se espera un aumento de más del 80%.
Aumento del nivel del mar	Se proyecta un incremento del nivel del mar, expresado en el cambio de la cota de inundación respecto a sus valores históricos, en toda la macrozona, con excepción de la región del Maule. Este incremento se da en prácticamente toda la zona costera de la región de Valparaíso con una probabilidad que bordea los 0,89. La probabilidad de incremento en O'Higgins, a diferencia de Valparaíso, no se presenta en toda su costa, sino que está centrada en la Comuna de Pichilemu, con una probabilidad de 0,9.
Vientos fuertes	La presencia de vientos fuertes está centrada en la región Metropolitana. Sin embargo, se prevé que estos disminuirán de forma poco significativa (en 0,6%).
Tormentas subtropicales	Los eventos de tormentas subtropicales no son comunes debido a las bajas temperaturas del agua de mar. Sin embargo, se han registrado dos casos excepcionales. Uno de ellos ocurrió en 2015 y fue denominado "Ciclón subtropical Katie", asociado a un Fenómeno El Niño cercano. El otro caso tuvo lugar en 2018 y fue llamado "Ciclón subtropical Lexi", cerca de las costas de Chile (Segura Guzman, 2019).

La siguiente tabla presenta los impactos intermedios identificados en la macrozona centro

Tabla 4 Impactos intermedios proyectados en la macrozona centro

Amenaza	Proyección
Erosión del suelo	En base al estudio desarrollado por el CIREN (2010), alrededor del 45% de la superficie de la macrozona presenta suelos con erosión severa y muy severa, atribuida principalmente actividades antrópicas, teniendo como principal agente erosivo el factor hídrico. Se proyecta que esta cifra aumente, alcanzando el 68% de la superficie total
Erosión costera	La erosión costera proyecta un incremento desde valores menores al 1% hasta valores máximos que rondan el 18%.
Inundaciones	Registros que abarcan desde 1912 hasta 2017, reportan un total de 281 eventos de inundaciones. Encabezado por la región Metropolitana con 131 eventos, seguida de Valparaíso con 94 eventos. En contraste, las regiones de Maule y O'Higgins registraron la menor incidencia, con 33 y 23 eventos, respectivamente (ERIDANUS, 2018). Una proyección climática desde el 2035 a 2065 prevé un aumento poco significativo de las inundaciones, incrementando solo en las regiones Metropolitana y Valparaíso en 3,3% y 2,6%, respectivamente.
Remoción en masa	Los eventos de remoción en masa, aluviones, bajo un análisis histórico desde 1912 al 2017 la posicionan como la segunda macrozona con mayor incidencia. Se registraron un total de 19 episodios, con la región de Valparaíso liderando con 11 eventos. Mientras que, las regiones de O'Higgins y Maule, fueron las de menor eventos de aluviones, identificando 1 evento para cada uno (ERIDANUS, 2018).
Incendios	La ocurrencia de incendios forestales en la macrozona ha incrementado en los últimos años debido a diversos factores, como: alta cantidad de material combustible debido a la abundante vegetación, emplazamiento de grandes empresas forestales que favorece las

condiciones de material disponible para quema, mayor concentración de población, considerando que en su mayoría los incendios forestales son causados por humanos, y periodos de sequía relacionados al cambio climático (Barrenechea Riveros, 2020). Basado en las estadísticas históricas⁵ del número de ocurrencia de incendios desde 1977 hasta 2023, esta macrozona se sitúa como la segunda con mayor incidencia, con un rango que oscila entre 12.201 y 40.964 incidentes, donde la región de Valparaíso registra la mayor incidencia, mientras que la de O'Higgins presenta la menor. Al relacionar su incidencia con el incremento de temperatura, sobre los 30°C, para el periodo del 2035 a 2065 podemos proyectar un incremento en la probabilidad de ocurrencia de estos eventos a aproximadamente el 50%.

Macrozona Sur

Esta macrozona abarca las regiones de Ñuble⁶, Biobío, La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos y se caracteriza por presentar una transición norte-sur de clima mediterráneo a templado oceánico (BCN, s. f.-b). Cuenta con un clima templado lluvioso, influencia del océano pacífico con impacto significativo en el clima de la región. En esta zona se aprecia la presencia de bosques templados lluviosos, presencia de lagos y fiordos, que son resultados de la acción glaciaria y fluvial a lo largo de millones de años. Al igual que en la anterior macrozona se presenta un Clima de Hielo de Altura en la zona cordillerana con precipitaciones que pueden llegar a los 3.000 mm. En la zona de Puerto Montt, región de Los Lagos, se presenta un nuevo tipo de clima conocido como Clima Marítimo Lluvioso, caracterizado por precipitaciones que superan los 2.500 mm anuales, distribuidas a lo largo de todo el año y con ausencia de períodos secos prolongados. Se observa nieve en zonas de altura, conformada por cordilleras y valles intermontanos de poca altitud, como en la Cordillera de los Andes y volcanes del sur. Se llevan a cabo actividades forestales y agrícolas (Barrenechea Riveros, 2020).

La siguiente tabla sintetiza las proyecciones de las principales amenazas del cambio climático para la infraestructura en la macrozona sur.

Tabla 5. Amenazas climáticas proyectadas en la macrozona sur

Amenaza	Proyección
Sequías	Bajo la proyección climática para el período 2035-2065, se evidencia un aumento variable en la frecuencia de sequías en la macrozona en comparación con los valores históricos de 1980-2010. Este incremento muestra una tendencia decreciente desde el norte hacia el sur, con un rango entre el 20,3% y el 7,7%.
Heladas	De todo el territorio chileno, esta macrozona se caracteriza por tener la menor incidencia de heladas, con valores que van desde los 0,06 días/año en la Región de los Ríos, hasta los 0,56 días/año en la Región de Ñuble. No se pronostica un incremento de heladas para el período 2035-2065.

⁵ Data "Resumen Regional Ocurrencia" disponible en la página web del Ministerio de Agricultura <https://www.conaf.cl/incendios-forestales/incendios-forestales-en-chile/estadisticas-historicas/>

⁶ Constituida el 6 de setiembre del 2018, antes provincia de la Región de Biobío <https://www.bcn.cl/siit/actualidad-territorial/region-de-nuble/>

Altas temperaturas	Se espera un aumento en los episodios de altas temperaturas, con valores que rondaban los 37 días al año y que llegarán a un promedio de 83 días al año para todas las regiones que la componen.
Olas de calor	Las olas de calor se proyectan incrementar de forma significativa en las regiones de Ñuble y Biobío, pasando de 7 a 16 días en la primera región y de 2 a 6 días en la segunda. De manera menos pronunciada, la región de La Araucanía incrementará su incidencia desde menos de 1 día a casi 3 días de olas de calor, mientras que las regiones de Los Ríos y Los Lagos registrarán un aumento en sus olas de calor, aunque sin llegar a superar la unidad.
Precipitación intensa	La precipitación intensa disminuirá en toda la macrozona, pasando de un rango histórico de 45 a 91 días a uno que irá desde 38 a 82 días. Este valor tiende a incrementarse de norte a sur.
Marejadas	Bajo esta misma proyección, se prevé un decremento significativo de la incidencia de marejada de más del 90%, evaluado de forma particular en el Puerto San Vicente.
Aumento del nivel del mar	Asimismo, se proyecta un incremento del nivel del mar, expresado en el cambio de la cota de inundación respecto a sus valores históricos, específicamente en la región de Biobío. Este incremento se da desde la bahía de San Vicente hasta la playa Lebu con una probabilidad de casi el 100%.
Vientos fuertes	Si bien los vientos fuertes no son característicos en esta macrozona existen eventos registrados en todas sus regiones, Asimismo, se proyecta un aumento en la velocidad de sus vientos en especial en la región de Los Lagos hasta en más del 2%.
Trombas marinas	La incidencia de trombas marinas es más notable en esta macrozona en comparación con las demás, y aunque no se han registrado un número significativo de casos, existen reportes que datan desde 1881. Los incidentes fueron documentados en las costas de las regiones de Biobío, La Araucanía y Los Lagos. A pesar de la escasez de antecedentes, no se puede descartar su ocurrencia («Evidencias de fenómenos del tipo Tornado en las costas de la VIII Región del Biobío y el Sur de Chile», s. f.).

La siguiente tabla presenta los impactos intermedios identificados en la macrozona sur.

Tabla 6 Impactos intermedios proyectados en la macrozona sur

Amenaza	Proyección
Inundaciones	Registros que abarcan desde 1912 hasta 2017, reportan un total de 125 eventos de inundaciones. Destaca la región de Biobío con 47 eventos, seguida de La Araucanía con 38 eventos. Los que registraron menor incidencia fueron las regiones de Los Lagos y Los Ríos con 22 y 18 eventos, respectivamente (ERIDANUS, 2018). Al igual que la macrozona centro, bajo una proyección climática desde el 2035 a 2065 se prevé un aumento poco significativo de las inundaciones. La región de Los Lagos incrementará solo en 4,5% seguido de la región de Los Ríos con 1,9%. Las demás regiones tendrán un incremento inferior al 1%.
Remoción en masa	Los eventos de remoción en masa, aluviones, bajo un análisis histórico desde 1912 al 2017 la posicionan como la tercera macrozona con mayor incidencia. Se registraron un total de 17 episodios, apenas 2 menos que la macrozona centro. La distribución de los eventos es relativamente uniforme en todas las regiones, con alrededor de 4 eventos por región. Se destaca la región de Los Lagos, que registró 6 eventos (ERIDANUS, 2018).
Incendios	Según las estadísticas históricas del número de ocurrencia de incendios desde 1977 hasta 2023, esta macrozona se sitúa como la de mayor incidencia; sin embargo, sus casos están fuertemente diferenciados entre las diferentes regiones que lo componen. El máximo valor se registró en la región de Biobío con 99495 incidencias; mientras que, las regiones de Los Ríos

	y Ñuble tienen los menores registros con 4287 y 2639 incidentes, respectivamente. Se proyecta, en base al incremento de temperatura sobre los 30°C, para el periodo del 2035 a 2065 que estos incrementen de forma poco significativa en la zona norte de la macrozona hasta valores que rodean el 25%.
Erosión del suelo	En base al estudio desarrollado por el CIREN (2010), alrededor del 55% de la superficie de la macrozona presenta suelos con erosión severa y muy severa, atribuida a una fuerte influencia antrópica como geológica en la zona de cordillera, teniendo como principal agente acelerador el cambio de uso de suelo, deforestación e incendios forestales. Se proyecta que esta cifra aumente, alcanzando el 72% de la superficie total.
Erosión costera	La erosión costera se proyecta incrementar específicamente en las costas de la región de Biobío. Se prevé un incremento de erosión variable, desde incrementos del 1% hasta más del 20%.

Macrozona Austral

Esta zona abarca las regiones Aysén y Magallanes y presenta características predominantes de clima templado oceánico lluvioso que se localiza de preferencia en la Cordillera de la Costa, y en la precordillera andina, presentando características de mayor continentalidad debido a su relativo alejamiento del mar. En el norte, presenta un clima marítimo lluvioso en la zona costera y Estepárico frío en la zona interior. En el primero, las precipitaciones alcanzan los 3.000 o 4.000 mm., mientras que, en el segundo, las precipitaciones disminuyen a 1.400 mm al año. Por otro lado, en la zona sur, a pesar de su latitud, se presentan tipos de climas con condiciones más secas, como el Clima Estepárico Frío y de Tundra. Esta macrozona es parte de la Región de la Patagonia, que se caracteriza por tener un clima predominantemente frío por la influencia del Océano Pacífico, los Andes y la Antártida. Cuenta con fuertes vientos y tormentas, especialmente en áreas costeras. Lluvias abundantes, presencia de hielo y glaciares; vegetación y bosques subantárticos, todo este paisaje abre las puertas al turismo (Barrenechea Riveros, 2020; zona austral, s. f.).

La siguiente tabla sintetiza las proyecciones de las principales amenazas del cambio climático para la infraestructura en la macrozona austral.

Tabla 7. Amenazas climáticas proyectadas en la macrozona austral

Amenaza	Proyección
Heladas	Debido a sus características climáticas, esta macrozona presenta el mayor número de heladas, con un promedio de 12,45 días al año. La Región de Magallanes registra la mayor cantidad, con 16,30 días al año, mientras que Aysén presenta 8,59 días al año. Asimismo, se proyecta que para el período 2035-2065, Magallanes experimentará la mayor reducción en el número de heladas, disminuyendo casi 8 días al año.
Altas temperaturas	Durante el mismo período de análisis, se espera un aumento en los episodios de altas temperaturas, con valores que rondaban los 37 días al año y que llegarán a valores de 88 y 94 días para las regiones de Aysén y Magallanes, respectivamente.
Precipitación intensa	La precipitación intensa se mantendrá prácticamente invariable en toda la macrozona. Siendo la región de Aysén donde pasará de casi 90 días a 84. Mientras que en la región de Magallanes se incrementará ligeramente de un valor de 46 días a casi 48 días.
Vaciamiento de glaciares	El vaciamiento de lagos glaciares es un fenómeno natural poco conocido pero cada vez más reincidente en la macrozona, esto debido a la mayor presencia de factores desencadenantes

	como: terremotos, erupciones volcánicas y el cambio climático. Se han registrado incidentes principalmente en el lago Cachet II, ubicado en el entorno del glaciar Colonia, el lago Calafate o Mapuche del glaciar Calafate y la laguna del glaciar Exploradores, todos en la región de Aysén (Gómez Cole, 2020).
Vientos fuertes	Característicos en esta macrozona, se proyectan aumentar de forma significativa, especialmente en la Región de Magallanes. Este aumento varía desde cerca del 1% hasta más del 4% en comparación con sus valores históricos.
Tormentas de nieve	Destaca por ser la segunda macrozona con mayor índice de nieve máxima diaria. Los valores rondan entre los 10 mm y 15 mm. Sin embargo, según las proyecciones climáticas para el período del 2035 a 2065, se anticipa una disminución en toda la macrozona, llegando a valores entre 7,7 mm y 10,7 mm para las regiones de Magallanes y Aysén, respectivamente.

La siguiente tabla presenta los impactos intermedios identificados en la macrozona austral

Tabla 8 Impactos intermedios proyectados en la macrozona austral

Amenaza	Proyección
Erosión del suelo	En base al estudio realizado por el CIREN (2010), la macrozona exhibe un porcentaje de erosión en superficie en relación con su área total de un valor del 45.5%. Esta erosión se distribuye de manera equitativa en todo su territorio y no presenta tendencias de un incremento significativo.
Inundaciones	Bajo ese mismo periodo de análisis se reportan un total de 39 eventos de inundaciones, siendo la macrozona con menor incidencia. Los registros de inundaciones son similares en las regiones que la conforman, alrededor de 19 eventos por región (ERIDANUS, 2018). Contrario a ello, en una proyección climática (2035 - 2065) se prevé un aumento de esta incidencia de inundaciones de entre 7,1% y 11,8% en Aysén y Magallanes, respectivamente.
Remoción en masa	Para un periodo de análisis desde 1912 al 2017 los eventos de remoción en masa, aluviones, son poco frecuentes, identificándose un total de 3 casos. Todos estos eventos se registraron en una sola región, Aysén (ERIDANUS, 2018).

A nivel global, se ha observado un incremento en la acidificación del océano. Estudios indican que el pH global de la superficie del océano ha disminuido de 8,2, registrado en la era preindustrial, a 8,1, lo que representa un aumento cercano al 30% en la acidez del océano. Se proyecta que para el año 2100, los valores de pH oscilarán entre 7,8 y 7,9, lo que representaría un incremento del doble en la acidez (NOAA, 2014).

A continuación, se presenta una tabla resumen que muestra todas las amenazas climáticas e impactos intermedios identificadas en cada macrozona de Chile, considerando únicamente aquellas con impacto en la infraestructura, que se detallarán en la siguiente sección. Además, se han asignado una serie de indicadores y se ha establecido una escala de significancia para cada uno de ellos, basada en la incidencia del evento y su proyección a largo plazo. Esta escala comprende: **A** (Más significativo), **B** (Moderadamente significativo) y **C** (Poco significativo).

Tabla 9. Amenazas climáticas e impactos intermedios por Macrozonas de Chile

Amenazas/ Impactos intermedios	Indicadores ⁷	Norte	Centro	Sur	Austral
Sequías	Frecuencia de sequía	A	A	B	
Incendios forestales	Días calurosos (>30°C)		A	A	
Vaciamiento de lagos glaciares	Nivel de lagos glaciares				A
Marejadas	% de excedencia del límite operacional	B	A	C	
Inundaciones	Lluvia máxima diaria	A	A	B	B
Incremento del nivel del mar	Cambio en la cota de inundación	B	A	A	
Acidificación del mar	pH del mar	B	B	B	B
Remociones en masa	Frecuencia de aluviones	A	B	B	C
Precipitación intensa	Días de precipitación intensa	C	B	A	A
Tormentas de arena	-	B			
Tormenta subtropical	-		C		
Olas de calor	Olas de calor >30°C	B	A	C	
Altas temperaturas	Días cálidos	A	A	B	B
Tormentas de nieve	Nieve máxima diaria		B		B
Vientos fuertes	Viento máximo diario	B	B	C	A
Heladas	Días de hielo bajo 0°C	C	B		B
Trombas marinas	Escala TORRO			C	
Erosión del suelo	Tasa de erosión	A	B	A	C
Erosión costera	Tasa de erosión/ cambio	A	B	B	

Fuente: Elaboración propia

3.2.3. Impactos del cambio climático sobre la infraestructura

Los tipos de infraestructura pública ofrecidos por el MOP pueden dividirse en 3 tipos de servicios: conectividad, protección del territorio y edificación pública sustentable (Figura 2). Estas infraestructuras, así como las necesidades humanas soportadas por esta, pueden ser dañadas por los eventos climáticos. Por ejemplo, la provisión de agua potable y de regadío, la conectividad, la protección del territorio, la edificación pública y de aprovechamiento óptimo de los recursos hídricos

⁷ Indicadores propuestos basados en índices climáticos de ARCLim.

pueden verse interrumpidas por la afectación de la infraestructura debido al cambio climático. A continuación, se describen las principales repercusiones del cambio climático sobre los servicios de infraestructura.

Altas temperaturas, olas de calor e incendios

A nivel urbano las altas temperaturas implican cambios en el diseño de cualquier obra, así como un incremento en el uso de aire acondicionado en espacios cerrados, causando mayor consumo energético y mayores emisiones de Gases de Efecto Invernadero (Siclarí Bravo, 2020).

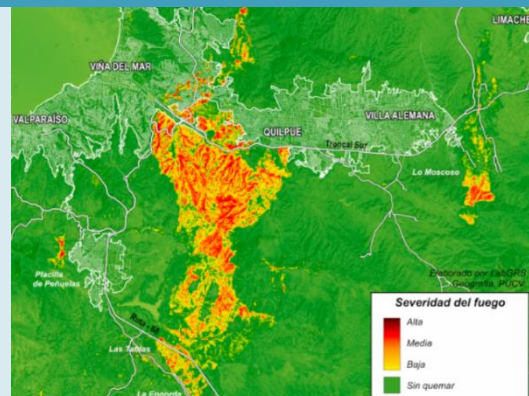
Las altas temperaturas traen consigo condiciones favorables para la propagación de incendios.

Evento histórico de incendios forestales

Fecha: Enero-Febrero 2024

Lugar: Viña del Mar, Quilpué y Valparaíso

Descripción: Incendios forestales consumieron en total 10.022 hectáreas, además de que interrumpieron el tráfico en las rutas 68 y F-718 y los servicios de transporte, como el MERVAL. COGRID Nacional reportó 45 fallecidos, 15 albergues con 1.670 albergados y 21.000 personas evacuadas, con un 99,4% fuera de la zona de riesgo.



Daños causados: se reportaron daños en un Servicio Sanitario de Agua Potable Rural en Quebrada Escobar, Villa Alemana, con estanques plásticos derretidos y cañerías afectadas. Aunque el sistema de relevación sufrió daños, continuó operativo. En Viña del Mar, 675 clientes sufrieron afectaciones en el suministro de agua.

Sequías

Las sequías han adquirido importancia como fenómenos cada vez más catastróficos y, a la vez, los sistemas de uso del agua son algunos de los más vulnerables. Estas desencadenan otros peligros, como el deslizamiento de tierra, deslizamiento de roca y remoción en masa. Asimismo, provocan la pérdida de humedad, lo que causa el asentamiento diferencial en edificios y carreteras, el consecuente agrietamiento de las infraestructuras y finalmente la desestabilización y derrumbe en casos extremos. Otros peligros desencadenados son el déficit hídrico y los incendios, ya que la escasez de agua afecta el suministro de agua potable y la capacidad de lucha contra incendios (*zona austral*, s. f.).

Evento histórico de sequía

Fecha: Entre 2010-2019

Lugar: las regiones desde Antofagasta hasta Magallanes, pero principalmente a las regiones entre Coquimbo y La Araucanía

Descripción: Desde el año 2010, Chile viene enfrentando una mega sequía, que ha afectado a las regiones desde Antofagasta hasta Magallanes, pero principalmente a las regiones entre Coquimbo y La Araucanía, las cuales registraron un déficit de precipitaciones cercano al 30% (Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia - CR2, 2015).



Fuente: CR2, 2016

Daños causados: Este evento perjudica principalmente el acceso al agua potable, por lo que entre el 2015 y el 2023 aproximadamente 28.705 personas fueron afectadas. Asimismo, este déficit hídrico impacta en los sectores productivos de la agricultura y la ganadería. En un reporte del CR2 a inicios del 2015 Michael (2015) se indica que, en zonas como la provincia de Llanquihue, el valor del forraje casi duplicó respecto de un año normal, y los precios de los animales en las ferias han bajado más de 30% ante el aumento de la oferta, ya que los productores buscan reducir su stock por la falta de praderas para alimentarlos. En la Araucanía la sequía ocasionó daños que se traducen en mermas de unas 20 toneladas de trigo por hectárea respecto de un año normal en los distintos predios en la región.

Aumento del nivel del mar, marejadas, inundaciones y erosión costera

Las marejadas y las inundaciones costeras tienen impactos como la anegación de infraestructura de borde costero, la interrupción de operaciones portuarias, el arrastre de sedimento del litoral, la afectación de vías de comunicación, daños de la infraestructura costera y portuaria, a las embarcaciones y pérdida de playas. Las marejadas causan a su vez la erosión de borde costero que tiene como consecuencia la inestabilidad del suelo y el socavamiento de la infraestructura.

Evento histórico de marejadas

Fecha: 08 de agosto de 2015

Lugar: regiones de Valparaíso y Coquimbo

Descripción: se produjo un temporal con marejadas y oleaje extremo, así como viento extremo en las que duró aproximadamente 24 horas, ocasionado por una baja de presión atmosférica, sistema frontal de vientos y marea astronómica



Daños causados: Este evento ocasionó 6 muertos, afectó 2 puertos, 2 infraestructuras de conectividad, 2 de ribera, ocasionó el sobrepaso y socavación de muros de borde, el sobrepaso y daños estructurales de rompeolas y el sobrepaso y daños estructurales de los espigones / molos.

Precipitaciones, remociones en masa e inundaciones

Las precipitaciones tienen como consecuencia deslizamientos de masas e inundaciones, causando daños significativos a la infraestructura, tanto de edificios como de carreteras, en servicios de transporte y servicios de suministro de agua. Este tipo de eventos afectan los sistemas de drenajes de agua de lluvia, los sistemas de distribución de agua potable, los sistemas hidráulicos de cuerpos de agua (Siclarí Bravo, 2020). También degradan el medio ambiente al eliminar la vegetación, causando erosión en el suelo y facilitando la erosión o sedimentación de las riberas de los ríos y costas marítimas («Marejadas», 2017).

Las inundaciones fluviales consecuencia de las precipitaciones intensas, pueden causar impactos sobre la infraestructura como el sobrepase de la defensa fluvial, el incremento de la escorrentía en zonas de alta cota de las cuencas, la superación de caudales máximos de diseño o el socavamiento.

Las remociones en masa por su parte pueden ocasionar el colapso de la infraestructura de control aluvional, la destrucción de la edificación pública, afectar las vías, inhabilitar los sistemas de retención de sedimentos, bloquear el cauce de los ríos, entre otros.

Evento histórico de remoción en masa

Fecha: 16 de diciembre del 2017

Lugar: Santa Lucía en Chaitén

Descripción: debido a precipitaciones intensas causadas por un sistema frontal, Santa Lucía en Chaitén sufrió una remoción en masa, un alud generado por un deslizamiento sobre un glaciar en retroceso devastó vegetación, vías y estructuras, cubriendo la villa con barro y detritos.



Daños causados: Este evento dejó un saldo de 21 fallecidos, un desaparecido, 112 damnificados y 28 viviendas destruidas, así también afectó las rutas 7 y 235, la cual conecta Palena y Futaleufú. En total, se identificó una superficie dañada de 90 hectáreas.

Vientos fuertes y sistemas frontales

Por otro lado, los efectos principales detectados en construcciones e infraestructura por causa de los vientos fuertes y los sistemas frontales fueron voladuras de techos y averías en las edificaciones, estas se vinculan directamente con el tipo de material y con un estado de mantenimiento deficitario (Micu, 2021). Si los edificios están diseñados y contruidos con normas actualizadas en materia de resistencia al viento, la acción del viento conlleva pocos efectos adversos, por el contrario, la turbulencia afecta la infraestructura de los edificios, causa el incremento del caudal de los ríos, agrava la erosión de la base de los puentes y provoca deslizamientos que interrumpen los tramos de carreteras (Campo et al., 2013).

Tormentas de nieve

Las tormentas de nieve son un peligro para la infraestructura, ya que estas tormentas se desarrollan con rapidez ya que el peso de la nieve provoca la caída de árboles y ramas sobre los tejados

(Comarazamy, 2005). La acumulación de nieve puede obstruir los sistemas fluviales, causar rotura de compuertas debido al peso de la nieve acumulada, aumentar el caudal de los ríos y arroyos, lo que causa inundaciones y cambios en el patrón de escorrentía.

Acidificación del océano

A nivel de infraestructura, sus impactos se relacionan con la carbonatación del hormigón, en la cual la superficie de este reacciona con el agua de mar para formar precipitados de $Mg(OH)_2$ y $CaCO_3$, reduciendo el pH del material. Este descenso del pH ocasiona que la capa protectora de óxido que rodea una barra de acero comience a descomponerse más rápidamente, lo que provoca la corrosión del propio elemento de acero (Mos et al., 2019; Structuralia, 2022).

Tormenta de arena

La abrasión causada por las partículas de arena puede corroer las superficies metálicas en edificaciones. Además, su acumulación en carreteras y vías férreas puede dificultar la circulación y aumentar el riesgo de accidentes (*Impactos de las Tormentas de Arena*, 2024)

En la Tabla 10, se sintetizan los impactos que causan las amenazas climáticas e impactos intermedios identificados para el territorio chileno, en las infraestructuras de los diferentes servicios del MOP:

Tabla 10. Impactos de las amenazas climáticas e impactos intermedios sobre la infraestructura

Amenaza / Impacto intermedio	Conectividad	Protección del territorio frente a eventos extremos	Edificación pública sustentable y resiliente
Sequías	<ul style="list-style-type: none"> Contracción y agrietamiento afectando estabilidad Asentamiento diferencial en carreteras 	<ul style="list-style-type: none"> Interrupción en suministro de agua potable Reducción de la disponibilidad de agua en los embalses 	<ul style="list-style-type: none"> Interrupción en suministro de agua potable Asentamiento diferencial en edificios
Olas de Calor/ Altas Temperaturas	<ul style="list-style-type: none"> Afectación de la estabilidad estructural de puentes y túneles Interrupción de vías terrestres y servicios de transporte. 	<ul style="list-style-type: none"> Estanques derretidos, cañerías afectadas Reducción de la disponibilidad de agua en los embalses Interrupción en suministro de agua potable 	<ul style="list-style-type: none"> Dstrucción de infraestructura y edificaciones Restricciones en la operación de la infraestructura debido a consideraciones de seguridad y salud.
Incendios forestales y urbanos	<ul style="list-style-type: none"> Dstrucción de infraestructura Interrupción de vías terrestres y servicios de transporte Reducción de visibilidad 	<ul style="list-style-type: none"> Dstrucción de infraestructura Estanques derretidos, cañerías afectadas Pérdida de ecosistemas Contaminación de cauces con cenizas o materiales vegetales quemados 	<ul style="list-style-type: none"> Dstrucción de infraestructura Riesgos a la salud en edificaciones públicas (hospitales y cárceles) Pérdidas de ecosistemas
Marejadas	<ul style="list-style-type: none"> Interrupción de operaciones portuarias y vías de comunicación Interrupción de rutas costeras. Daños en la infraestructura 	<ul style="list-style-type: none"> Arrastre de sedimentos y pérdida de playas Desborde de los ríos en las desembocaduras con potencial afectación de sistemas de riego y colectores de aguas de lluvia en zonas costeras Afección de la dinámica natural de los estuarios 	<ul style="list-style-type: none"> Daños estructurales y funcionales por la fuerza de agua y los sedimentos
Incremento del nivel del mar	<ul style="list-style-type: none"> Obstrucción y afectación de infraestructura 	<ul style="list-style-type: none"> Aumento vulnerabilidad zonas costeras a inundaciones y erosión 	<ul style="list-style-type: none"> Anegación en edificios

	<ul style="list-style-type: none"> ● Interrupción del tráfico y el comercio ● Mayores costos de mantenimiento y adaptación. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Mayores costos de mantenimiento y adaptación. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Inundación parcial o total de edificios ● Disminución del área permitida para edificación habitable
Acidificación del mar	<ul style="list-style-type: none"> ● Carbonatación del hormigón infraestructura costera y vías terrestres ● Compromete la seguridad y funcionalidad de los servicios 	<ul style="list-style-type: none"> ● Carbonatación del hormigón de infraestructura de control fluvial ● Erosión de infraestructuras costeras de protección, ● Aumento de riesgo de inundaciones y erosión costera ● Intrusión salina 	<ul style="list-style-type: none"> ● Carbonatación del hormigón de edificios ● Daños estructurales y estéticos debido a la corrosión de materiales
Remociones en masa	<ul style="list-style-type: none"> ● Interrupción de vías terrestres ● Socavamiento de infraestructuras ● Inestabilidad del terreno ● Afectación de la seguridad y funcionalidad de las vías de comunicación 	<ul style="list-style-type: none"> ● Rotura de compuertas de embalses y de infraestructura de riego ● Daños en infraestructura de agua potable 	<ul style="list-style-type: none"> ● Destrucción de infraestructura ● Erosión y sedimentación del suelo ● Inestabilidad del terreno ● Aislamiento de comunidades
Precipitación intensa, Inundaciones	<ul style="list-style-type: none"> ● Anegación en vías terrestres ● Afectación de la seguridad y funcionalidad de las vías de comunicación 	<ul style="list-style-type: none"> ● Sobrepase y/o destrucción de defensa fluvial ● Superación de caudales máximos ● Rotura de compuertas de embalses y de infraestructura de riego ● Sobrecarga de sistemas de drenaje ● Arrastre y acumulación de sedimentos 	<ul style="list-style-type: none"> ● Anegación en edificios

Heladas	<ul style="list-style-type: none"> • Daños en infraestructuras expuestas a condiciones extremas • Acumulación de hielo dificulta el tráfico y aumenta el riesgo de accidentes 	<ul style="list-style-type: none"> • Congelamiento de embalses, canales y tuberías interrumpe el suministro y disponibilidad de agua potable • Reducción de la eficiencia agrícola 	<ul style="list-style-type: none"> • Daño en tuberías y sistemas de agua que provocan interrupciones en el suministro de agua • Incremento de costos de mantenimiento y reparación
Tormentas de arena	<ul style="list-style-type: none"> • Interrupción de vías terrestres 	<ul style="list-style-type: none"> • Obstrucción de sistemas fluviales • Superación de caudales máximos 	<ul style="list-style-type: none"> • Corrosión de superficies metálicas en edificaciones
Tormentas de nieve	<ul style="list-style-type: none"> • Interrupción de vías terrestres. 	<ul style="list-style-type: none"> • Obstrucción de sistemas fluviales, Rotura de compuertas de embalses y de infraestructura de riego 	<ul style="list-style-type: none"> • Anegación en edificios • Colapso de estructuras (techos) por peso de nieve
Vientos fuertes	<ul style="list-style-type: none"> • Erosión de bases de puentes • Interrupción de la conectividad • Problemas de visibilidad • Arrastre de materiales diversos 	<ul style="list-style-type: none"> • En estado de turbulencia pueden causar la superación de caudales máximos 	<ul style="list-style-type: none"> • Voladuras de techo • Interrupción de servicios • Cortes de suministro de luz

Fuente: Elaboración propia tomando de referencia (GIZ & EURAC, 2017)

3.3. Indicadores de vulnerabilidad

Como se explicó en el capítulo anterior, la vulnerabilidad es específica según el tipo de amenaza e impacto que se está analizando y tiene dos elementos relevantes:

- **La sensibilidad** que puede incluir atributos físicos de un sistema, así como atributos sociales, económicos y culturales que lo hacen más propenso o susceptible de ser afectado por la amenaza en estudio.
- **La capacidad para prepararse y responder** a los impactos climáticos que se están analizando, comprendiendo los sistemas o implementaciones que permiten superar condiciones adversas y adaptarse a daños potenciales u oportunidades.

El presente análisis se basa en la construcción de factores de vulnerabilidad a partir de la revisión de fuentes bibliográficas, el desarrollo de un taller cuyos resultados se presentan en el Anexo 2 y la aplicación del juicio de experto. Para ello, se buscó responder a las siguientes preguntas:

- a) ¿Qué atributos del sistema contribuyen al riesgo climático?
- b) ¿Qué atributos hacen que el sistema sea vulnerable a los impactos potencialmente negativos de las amenazas que se están considerando?
- c) ¿Qué capacidades del sistema existen o faltan para reducir el riesgo? ¿Existen opciones tecnológicas disponibles o faltantes que podrían mejorar la capacidad?

Para responder a estas preguntas es relevante recordar que el sistema evaluado lo constituyen los tres servicios del MOP previamente definidos, Conectividad, Protección del territorio frente a eventos extremos y Edificación pública. Asimismo, es relevante delimitar qué tipo de atributos de los servicios de infraestructura son pertinentes de analizar.

Según Deuman (2019), los factores de sensibilidad pueden ser agrupados en:

- i) Internos, también denominados “**estáticos**” por ser características propias de la infraestructura.
- ii) Externos, también denominados “**dinámicos**” por ser aquellas variables externas que actúan sobre el sistema.

Por su parte, la Metodología de evaluación del riesgo climático para infraestructura (2022) propone criterios propios del servicio de infraestructura que según la clasificación anterior podrían clasificarse como **estáticos** aquellos que involucran criterios de vulnerabilidad estructural, referida al estado de los componentes que conforman la infraestructura y a la integridad del conjunto, y la vulnerabilidad funcional y operacional, referida a la capacidad o ausencia de esta para brindar el servicio sin interrupciones, independientemente del estado estructural. Mientras que **dinámicos** vendrían a ser aquellos aspectos económicos, de salud pública, entre otros, que en esta metodología son denominados como “otros”.

3.3.1. Factores estáticos

Los siguientes son factores propios de los tres servicios de infraestructura brindados por el MOP, asociados tanto a su estructura como a su operación y funcionamiento, que determinan una mayor susceptibilidad ante las amenazas del cambio climático.

Vulnerabilidad estructural:

- **Grado de redundancia:** característica que hace que la resistencia del conjunto no dependa en gran parte de un número reducido de elementos, puesto que la falla de estos puede traer como consecuencia el colapso total o parcial del sistema de infraestructura
- **Robustez:** característica que puede obtenerse mediante la conjunción de tres componentes, (i) hacer cada elemento del sistema más resistente, (ii) dimensionar la infraestructura de mayor tamaño, (iii) proveer materiales en mayor cantidad y calidad. En ese sentido algunos factores asociados a la robustez son la resistencia estructural, la estabilidad estructural asociada a las fallas por asentamiento, desplazamiento o volcamiento y la calidad material, asociada a la composición de los materiales que constituyen la infraestructura. En algunos casos, como por ejemplo la infraestructura dedicada a la defensa de bordes costeros y fluviales, la altura también es un factor relevante.

Un indicador relevante para medir la robustez es el factor de seguridad o safety factor. En Chile, el factor de seguridad para infraestructuras está regulado por la Norma NCh430 Of71. (I NORMA CHILENA OFICIAL NCh432.Of71, s. f.). El cálculo del factor de seguridad generalmente implica dos componentes principales (*Factor de Seguridad / SafetyCulture*, s. f.):

- Cargas de diseño: Estas son las cargas que se anticipa que actuarán sobre la estructura durante su vida útil. Esto puede incluir cargas permanentes (como el peso propio de la estructura y cargas permanentes asociadas), cargas variables (como la carga de ocupación o la carga de viento) y cargas excepcionales (como cargas sísmicas).
- Capacidad resistente de la estructura: Esta es la capacidad de la estructura para resistir las cargas aplicadas sin experimentar fallas. Incluye la resistencia de los materiales utilizados, la capacidad de conexión y la capacidad de resistencia a la deformación.

Se calcula dividiendo la capacidad resistente de la estructura por las cargas de diseño. Un factor de seguridad mayor a 1 indica que la capacidad resistente es mayor que las cargas aplicadas, lo que proporciona un margen de seguridad contra posibles fallas.

Vulnerabilidad funcional y operacional:

- **Funcionalidad del sistema:** estado de funcionamiento deficiente o disminución de la capacidad de un sistema de infraestructura tras haber sido impactado por una amenaza climática o de otra índole.
- **Conservación del sistema:** asociado con la evolución de sistema a lo largo del tiempo y su nivel de deterioro.
- **Desempeño del sistema:** asociada a la calidad del servicio brindado dada por el diseño o las condiciones de la infraestructura. Puede ser medido a través de la percepción que los usuarios tienen del sistema.
- **Capacidad del servicio:** asociada a la capacidad que tiene un servicio de satisfacer la demanda para la cual fue diseñado, así como a la demanda real de este en el momento en que se realiza la evaluación de riesgo.
- **Alcance del servicio:** también entendido como la cobertura del servicio, es decir la proporción de la población o del territorio que cuenta con el servicio sobre el total.

3.3.2. Factores dinámicos

Dentro de los factores dinámicos, es posible identificar una variedad de factores físicos, ambientales, sociales, económicos, políticos externos a los tres servicios de infraestructura brindados por el MOP, que determinan una mayor susceptibilidad ante las amenazas del cambio climático.

A continuación, se describen algunos indicadores relevantes que midan características del entorno biofísico inmediato de los servicios de la infraestructura como la pendiente, cobertura vegetal, humedad del terreno, capacidad de drenaje; así como, indicadores demográficos y socioeconómicos que puedan influenciar el grado de vulnerabilidad de las obras realizadas por el MOP.

Tasa de erosión del suelo (Quinton et al., 2011)

La erosión del suelo puede debilitar los cimientos, causar deslizamientos de tierra, socavar estructuras y aumentar el riesgo de daños durante eventos climáticos extremos. Puede afectar negativamente a diversas infraestructuras, incluidas carreteras, puentes y otras estructuras. La erosión del suelo es causada principalmente por el agua de lluvia y el escurrimiento superficial, así como por el viento.

La tasa de erosión del suelo es una medida que describe la cantidad de suelo que se pierde o se desplaza de un área determinada durante un período de tiempo específico, generalmente expresada en términos de masa (por ejemplo, toneladas por hectárea por año) o en términos de profundidad (por ejemplo, milímetros por año).

Estas tasas pueden variar significativamente dependiendo del entorno y del uso del suelo. Por ejemplo:

- Erosión ligera: Menos de 5 toneladas por hectárea por año.
- Erosión moderada: Entre 5 y 50 toneladas por hectárea por año.
- Erosión severa: Más de 50 toneladas por hectárea por año.

Es importante tener en cuenta que la erosión del suelo puede afectar a una amplia gama de estructuras, las carreteras y autopistas, los puentes, todo tipo de edificios y construcciones, redes de agua potable, infraestructuras de control aluvional y defensa fluvial, canales de riego e infraestructuras de agua de lluvia.

Tasa de erosión costera

A diferencia de la tasa de erosión del suelo, la erosión costera es causada por la acción de las olas, las corrientes marinas y el nivel del mar.

El método Linear Regression Rate (LRR), o tasa de regresión lineal, es un enfoque estadístico comúnmente utilizado para calcular la tasa de erosión y es utilizado por ARCLIM.

Rango de erosión costera:

- > -1.5 m/año: Erosión alta
- 0.2 y -1.5 m/año: Erosión
- -0.2 y +0.2 m/año: Estado estable
- > +0.2 m/año: Acreción

Esta tasa de erosión afecta a todas las tipologías del MOP instaladas en los bordes costeros.

Cobertura vegetal de la ribera

La presencia y la densidad de vegetación a lo largo de las márgenes de ríos, arroyos, lagos, embalses u otras fuentes de agua. Esta vegetación es crucial para la protección de las orillas contra la erosión y otros procesos ambientales. Por ejemplo, las raíces de los árboles y arbustos en las orillas permiten que la infiltración del agua en el suelo sea mayor, lo que disminuye la erosión de las orillas de los ríos y reduce las escorrentías superficiales. Al retener el agua, la vegetación ribereña no solo ayuda a que las inundaciones río abajo sean menores, también mantiene la calidad del agua de los ríos al actuar como filtro (admin, 2022).

La cobertura vegetal en ribera puede ser expresada como un porcentaje que representa la proporción del área total de ribera que está cubierta por vegetación. Se sugiere que una cobertura vegetal del suelo de al menos el 70-80% puede ser efectiva para reducir la erosión en muchas situaciones.

Esta vulnerabilidad afecta a los embalses, a las infraestructuras de borde costero y a la conectividad portuaria.

Porcentaje de pendiente

La pendiente de un terreno es un factor crucial a considerar en la evaluación y desarrollo de infraestructuras, ya que incide directamente en la estabilidad del suelo y en el riesgo de deslizamientos de tierra y erosión. A medida que la pendiente se vuelve más pronunciada, aumenta la probabilidad de movimientos del suelo que podrían desencadenar fallos estructurales o colapsos. Además, las pendientes pronunciadas pueden obstaculizar el drenaje natural, favoreciendo la acumulación de agua en el suelo.

La unidad de medida más común para las pendientes es el porcentaje (%), que se calcula como la relación entre la diferencia de altura (desnivel) y la distancia horizontal, multiplicada por 100 (Highways, 2024).

- Para carreteras, pendientes superiores al 6-7% ya pueden presentar desafíos para la estabilidad y la seguridad del tráfico, especialmente en climas donde la nieve y el hielo son comunes.
- Construcción de Edificios: En la construcción de edificios, especialmente en zonas urbanas, una pendiente de más del 10-15% puede requerir técnicas especiales de construcción para asegurar la estabilidad del edificio y evitar problemas como deslizamientos o asentamientos diferenciales.
- Infraestructura Hidráulica: En infraestructuras hidráulicas, como canales y represas, las pendientes deben ser mínimas para evitar la erosión rápida y asegurar un flujo controlado del agua.

El porcentaje de pendiente afecta a todas las tipologías, ya que, desde una perspectiva geotécnica, existe la importancia de evaluar y mitigar los riesgos asociados con pendientes empinadas en diversos tipos de proyectos de ingeniería civil. En la ingeniería geotécnica, se utilizan métodos como el análisis de estabilidad de taludes y el diseño de terraplenes para evaluar y mitigar los riesgos con las pendientes (Das, s. f.).

Incidencia de pobreza en los hogares

Los hogares en condición de pobreza suelen depender en mayor medida de los servicios públicos, como la seguridad, la salud y la educación. Además, es común que enfrenten deficiencias en la calidad de sus viviendas y que se ubiquen en áreas no adecuadas según los criterios de ordenamiento territorial. Por lo tanto, este es un indicador clave para evaluar la vulnerabilidad de ciertos servicios de infraestructura, en los cuales la asignación de presupuesto impacta directamente en la capacidad adaptativa de la infraestructura, especialmente aquellos destinados a la protección ante eventos extremos y a la edificación pública.

La medición de la pobreza y la pobreza extrema por insuficiencia de ingreso se basa en comparar el ingreso percibido por el hogar con dos valores conocidos como las líneas de pobreza y de pobreza extrema. Estos valores representan un estándar mínimo de ingreso necesario para satisfacer un conjunto de necesidades básicas. El Ministerio de Desarrollo Social y Familia calcula regularmente el valor de estas líneas de pobreza extrema y de pobreza de acuerdo con el costo actualizado de la Canasta Básica de Alimentos.

La incidencia de pobreza en los hogares chilenos se obtiene a partir de la Encuesta de Caracterización Socioeconómica (CASEN), realizada por el Ministerio de Desarrollo Social y Familia (División de Estadísticas de la CEPAL, 2023).

Tasa de crecimiento poblacional

Las proyecciones de población proporcionan una referencia del futuro tamaño y estructura de una población, basadas en un conjunto de supuestos sobre el comportamiento de los componentes demográficos: fecundidad, mortalidad y migración. Estas proyecciones son un insumo fundamental para la planificación y diseño de la infraestructura y edificación pública, ya que permiten anticipar demandas futuras. Si estas demandas no se identifican a tiempo, las obras diseñadas para cubrir una capacidad específica de personas podrían verse afectadas en su funcionalidad.

Las estimaciones y proyecciones del crecimiento poblacional son revisadas y actualizadas periódicamente por el Instituto Nacional de Estadísticas (INE) (Instituto Nacional de Estadísticas, s. f.).

Disposición de instrumentos de planificación territorial, emergencia y gestión de riesgos de desastres

Contar con instrumentos de planificación y gestión es crucial para dirigir el tipo de obra necesaria que aborde los problemas actuales y futuros causados por el cambio climático. La efectividad de las intervenciones frente a los impactos del cambio climático dependerá del enfoque adoptado en estos instrumentos. Este indicador puede medirse a través del número de instrumentos de planificación y gestión disponibles en la localidad donde se emplaza la infraestructura o edificación.

En las subsecciones a continuación se proporcionan indicadores de vulnerabilidad adicionales específicos de cada servicio y amenazas.

3.3.3. Indicadores de vulnerabilidad para servicios de infraestructura y edificación pública sustentable

A continuación, se presentan algunos factores e indicadores de vulnerabilidad que pueden ser aplicados de manera general para los tres servicios de infraestructura que brinda el MOP. En los siguientes apartados se profundizará en aquellos indicadores específicos de cada servicio.

Conectividad: terrestre, aérea, lacustre y marítima resiliente

El primer servicio prioritario dentro del plan de infraestructura del Ministerio de Obras Públicas es el de Conectividad, abarcando una red integral de infraestructuras diseñadas para facilitar la movilización eficiente de personas y bienes a lo largo del país.

La siguiente tabla presenta un listado de las vulnerabilidades de los servicios de conectividad organizadas según la amenaza, y la tipología de construcciones.

Tabla 11. Vulnerabilidad en el servicio de conectividad

Tipología de construcción	Amenazas climáticas	Indicadores de vulnerabilidad	
		De la Infraestructura	Del entorno
Caminos y carreteras	Inundaciones, Remoción en masa, Erosión del suelo, Altas temperaturas, Sequías, Heladas, Marejadas, Tormentas de nieve	Tiempo desde la última mantención/conservación, factor de seguridad, Capacidad de drenaje.	Pendiente, tipo de suelo, tasa de erosión del suelo, N° de rutas alternativas, Incidencia de pobreza en hogares
Puentes	Inundaciones, Remoción en masa, Erosión del suelo, Altas temperaturas, Sequías, Heladas	Factor de seguridad, Capacidad de drenaje, mantención y monitoreo de la infraestructura, tiempo desde última mantención/conservación	Tasa de erosión del suelo, pendiente, tipo de suelo, N° de rutas alternativas, Incidencia de pobreza en hogares
Aeropuertos	Heladas (hielo en pista), inundaciones, temperaturas altas, heladas, vientos fuertes, erosión costera (para aeropuerto en las costas)	Capacidad de drenaje, número de tratamientos antihielo, largo de la pista, cantidad de pistas.	Cantidad de barreras verdes contra el viento,
Portuaria de conectividad	Precipitaciones intensas, marejadas, inundaciones, erosión costera, vientos fuertes, aumento del nivel del mar	Estado de la infraestructura, factor de seguridad	Elevación del mar, tasa de erosión costera, cobertura vegetal ribereña

Fuente: Elaboración propia

La vida útil de las carreteras, el volumen del tráfico vehicular y las condiciones ambientales de las regiones, traen como consecuencia la fisuración estructural de estas obras.

A medida que la rueda se mueve a lo largo de la carretera, puede crear tensiones y deformaciones en cualquier punto de la estructura de la carretera dependiendo de varios factores diferentes. Los pavimentos pueden instrumentarse para medir las tensiones y deformaciones producidas en diversas partes del pavimento por cargas, especialmente aquellas consideradas críticas (Gutiérrez Soto, 2017).

Otro indicador importante que afecta al servicio de conectividad es la capacidad de drenar las aguas de las lluvias intensas. Este coeficiente cuantifica la eficacia del sistema de drenaje de una carretera en términos de su capacidad para eliminar el agua de la superficie y subsuperficie de la carretera rápidamente y de manera eficiente. Es fundamental para la integridad estructural y la seguridad vial, ya que la acumulación de agua puede causar daños al pavimento y reducir la vida útil de la carretera.

El valor de este coeficiente depende de dos parámetros: la capacidad del drenaje, que se determina de acuerdo al tiempo que tarda el agua en ser evacuada del pavimento, y el porcentaje de tiempo durante el cual el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación, en el transcurso del año. Dicho porcentaje depende de la precipitación media anual y de las condiciones de drenaje («COEFICIENTE DE DRENAJE Cd», s. f.). El American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) (1993) define cinco capacidades de drenaje, que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 12. Capacidad del Drenaje

Calidad del drenaje	Tiempo que tarda el agua en ser evacuada
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Regular	1 semana
Malo	1 mes
Muy malo	Agua no drena

Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993.

En resumen, el coeficiente de drenaje proporciona una métrica importante para evaluar y diseñar sistemas de drenaje en una variedad de infraestructuras de conectividad, incluyendo carreteras, puentes y aeropuertos, con el objetivo de garantizar la seguridad y la funcionalidad de estas instalaciones frente a eventos de lluvia y precipitación.

Protección del territorio frente a eventos extremos: marejadas, déficit y exceso de agua - incendios

Dentro del abanico de servicios delineados por el Ministerio de Obras Públicas para fortalecer la infraestructura nacional, destaca el segundo servicio denominado "Protección del Territorio frente a Eventos Extremos".

Este servicio se estructura en grupos de tipología de obra, siendo el primero de ellos crucial para la gestión del agua y la salvaguardia contra eventos climáticos adversos. Comprende una variedad de infraestructuras vitales, como embalses, canales de regadío, defensas fluviales, controles aluvionales

y sistemas de agua potable rural. Estas estructuras no solo tienen como objetivo principal gestionar los recursos hídricos, sino también proteger los territorios contra inundaciones, sequías y aluviones, mientras proporcionan acceso crucial al agua para usos agrícolas, industriales y domésticos.

Tabla 13. Indicadores de vulnerabilidad embalses, canales de regadío, defensas fluviales, controles aluvionales y agua potable rural

Tipología de construcción	Amenazas climáticas	Indicadores de vulnerabilidad	
		De la Infraestructura	Del entorno
Embalses	Sequías, marejadas, aumento del nivel del mar, remoción en masa, precipitaciones intensas.	Concentración de sólidos suspendidos (mg/l)(ppm), concentración de contaminantes químicos ((µg/L) (mg/l), n° de medidas de alerta temprana preventiva, factor de seguridad	Tasa de erosión del suelo, Plan de Regulación y Embalses, Incidencia de pobreza en hogares
Canales de riego	Sequías, marejadas, aumento del nivel del mar, remoción en masa, precipitaciones intensas.	Estado de la infraestructura, eficiencia del sistema de distribución.	Tasa de erosión del suelo, Planes Maestros de Aguas Lluvias, N° de hogares dependientes de la agricultura, incidencia de pobreza en hogares
Control aluvional y defensa fluvial	Sequías, marejadas, aumento del nivel del mar, remoción en masa, lluvias intensas, erosión.	Estado e integridad de la infraestructura, gestión de emergencias, factor de seguridad	Tasa de erosión del suelo, disminución del nivel freático en metros, kilos/toneladas de basura en quebradas/ríos, Planes Maestros de Aguas Lluvias, Materialidad de la vivienda, incidencia de pobreza en hogares
Agua potable rural	Sequías, marejadas, aumento del nivel del mar, remoción en masa, precipitaciones intensas, incendios forestales	Existencia de sistemas de recolección de aguas de lluvia, factor de seguridad, concentración de contaminantes químicos ((µg/L) (mg/l), cobertura del servicio	Calidad del agua, disponibilidad de agua, falta de acceso a agua potable, ha de deforestaciones cabeceras de cuenca, incidencia de pobreza en hogares

Fuente: Elaboración propia

Chile tiene planes de emergencia y sistemas de alerta temprana para embalses. Por ejemplo, la ONEMI y la Dirección General de Aguas junto con una empresa eléctrica han implementado medidas de alerta temprana preventiva para el Embalse Colbún ante posibles inundaciones en la zona del Río Maule, como parte de la gestión de riesgos asociados al aumento del nivel del embalse (Opazo, 2018). Por lo

tanto, la existencia de esos planes y sistemas podría ser un indicador adecuado para medir la vulnerabilidad de los embalses ante determinadas amenazas.

Para medir la eficiencia del sistema de distribución de los canales de riego, existen 2 indicadores (Ulloa, 2011) que proporcionan una medida cuantitativa de la eficiencia del sistema de distribución de agua en los canales de riego en Chile.

- a) **Capacidad de Derivación Relativa (CDR):** La CDR se refiere a la proporción entre la cantidad de agua realmente derivada a los usuarios finales y la capacidad total de derivación del canal. Esta métrica evalúa qué tan bien se utiliza la capacidad total del canal para entregar agua a los usuarios finales. Una CDR cercana al 100% indica una utilización eficiente de la infraestructura de riego, mientras que valores más bajos pueden indicar pérdidas en el sistema de distribución.
- b) **Derivación Operativa Relativa (DOR):** La DOR se refiere a la proporción entre la cantidad de agua realmente derivada a los usuarios finales y la cantidad de agua que ingresa al canal en un punto de entrada específico. Este indicador evalúa qué tan bien se mantiene la integridad del sistema de distribución a lo largo del canal y cómo se reduce la pérdida de agua desde el punto de entrada hasta los usuarios finales.

El segundo grupo incluye los planes maestros de evacuación y drenaje de aguas lluvias, en los cuales, como indica la Ley 19525, "(...) se definirá lo que constituye la red primaria de sistemas de evacuación y drenaje de aguas lluvias". Estas son estrategias de gestión del agua diseñadas para enfrentar los desafíos asociados con las precipitaciones intensas y las inundaciones urbanas, mejorar la capacidad de las ciudades y comunidades para gestionar eficazmente el exceso de agua durante eventos de lluvia intensa y reducir los riesgos asociados con las inundaciones.

El tercer grupo pertenece a la protección de los bordes costeros, estas son estructuras construidas a lo largo de las líneas costeras para proteger áreas habitadas, infraestructura crítica y ecosistemas sensibles contra la erosión costera, el impacto de las mareas altas y las tormentas marinas.

Y por último el grupo de Incendios, que está enfocado a la protección contra los incendios forestales (bosques nativos) e incendios de plantaciones forestales.

Tabla 14. Indicadores de vulnerabilidad de los planes maestros de lluvia, bordes costeros e incendios

Tipología de construcción	Amenazas climáticas	Indicadores de vulnerabilidad	
		De la Infraestructura	Del entorno
Infraestructura de aguas de lluvia	Precipitaciones intensas, incremento del nivel del mar, erosión del suelo, marejadas	factor de seguridad, frecuencia del mantenimiento	Calidad del agua de lluvia, incidencia de pobreza en hogares

Infraestructura de borde costero	Incremento del nivel del mar, marejadas, erosión costera, inundaciones, remoción de masas, acidificación del mar, trombas marinas	factor de seguridad, falta de infraestructura que reduzcan la erosión costera (rompeolas, enrocados)	Relieve, tipo de roca, forma costera, porcentaje de vegetación ribereña, pendiente costera, existencia de defensas costeras, rango mareal, altura del oleaje, incidencia de pobreza en hogares, materialidad de la vivienda
Dirección de Aeropuertos - Dirección de Vialidad: Incendios	Altas temperaturas, vientos fuertes, sequías	Materialidad, localización, accesibilidad	Acumulación de materia inflamable, accesibilidad, disponibilidad de recursos para la prevención y control.

Fuente: Elaboración propia.

La calidad del agua, puede ser un factor contribuyente con la vulnerabilidad de determinados servicios como el agua potable rural o la infraestructura de aguas de lluvia ya que una mala calidad del agua podría exacerbar los problemas asociados a la disponibilidad del agua por causa del cambio climático. La calidad del agua se puede medir como un porcentaje que se obtiene dividiendo el número de muestras que cumplen con las normas entre el total de muestras analizadas, y multiplicando el resultado por 100 para obtener el porcentaje (Loné, 2016).

Edificación pública sustentable y resiliente

El tercer servicio de infraestructura identificado por el Ministerio de Obras Públicas es el de Edificación Pública Sustentable y Resiliente, un componente fundamental dentro de su jurisdicción. Este servicio se enfoca en la planificación, diseño y construcción de una variedad de edificaciones públicas que abarcan una amplia gama de funciones y servicios esenciales para la comunidad. Desde oficinas gubernamentales y establecimientos educativos hasta instalaciones de seguridad y salud, tales como comisarías, escuelas, hospitales y complejos deportivos, estas estructuras son vitales para el funcionamiento eficiente y seguro del país. La visión del MOP es desarrollar edificaciones que no solo cumplan con los más altos estándares de calidad y seguridad, sino que también integren principios de sustentabilidad y resiliencia para enfrentar los desafíos presentes y futuros.

Tabla 15. Indicadores de vulnerabilidad del servicio de edificación pública sustentable y resiliente

Tipología de construcción	Amenazas climáticas	Indicadores de vulnerabilidad	
		De la Infraestructura	Del entorno

Hospitales		Cumplimiento de códigos y normativas de construcción local, diseño arquitectónico pasivo, factor de seguridad, adaptación a la temperatura, eficiencia energética	
Cárceles	Precipitaciones intensas, inundaciones, vientos fuertes, incremento del nivel del mar, incendios forestales, erosión del suelo, remoción en masa, altas temperaturas, heladas	Factor de seguridad, cumplimiento de códigos y normativas de construcción local, capacidad de evacuación, hacinamiento (diseño, densidad, m2 por persona)	Uso del suelo circundante, condiciones del suelo, accesibilidad, suelos impermeables, N° hospitales, escuelas, etc. / habitante, nivel de educación de la población, incidencia de pobreza en hogares, planificación territorial
Edificios públicos (oficina, liceos, escuelas, jardines infantiles, comisarías, estadios deportivos, polideportivos, fiscalías, contralorías, etc.)		Tiempo desde última mantención/conservación, factor de seguridad, cumplimiento de códigos y normativas de construcción local, capacidad de evacuación	

Fuente: Elaboración propia

4. Soluciones basadas en la Naturaleza en los servicios de infraestructura y edificación pública

4.1. Marco teórico de Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN)

El término Soluciones basadas en la Naturaleza (en adelante SbN) surgió por primera vez a finales de la década de los 2000, dentro del contexto de la búsqueda de nuevas soluciones para mitigar y adaptarse a los efectos del cambio climático, al mismo tiempo que se protege la biodiversidad y se promueven medios de vida sostenibles (Eggermont et al., 2015).

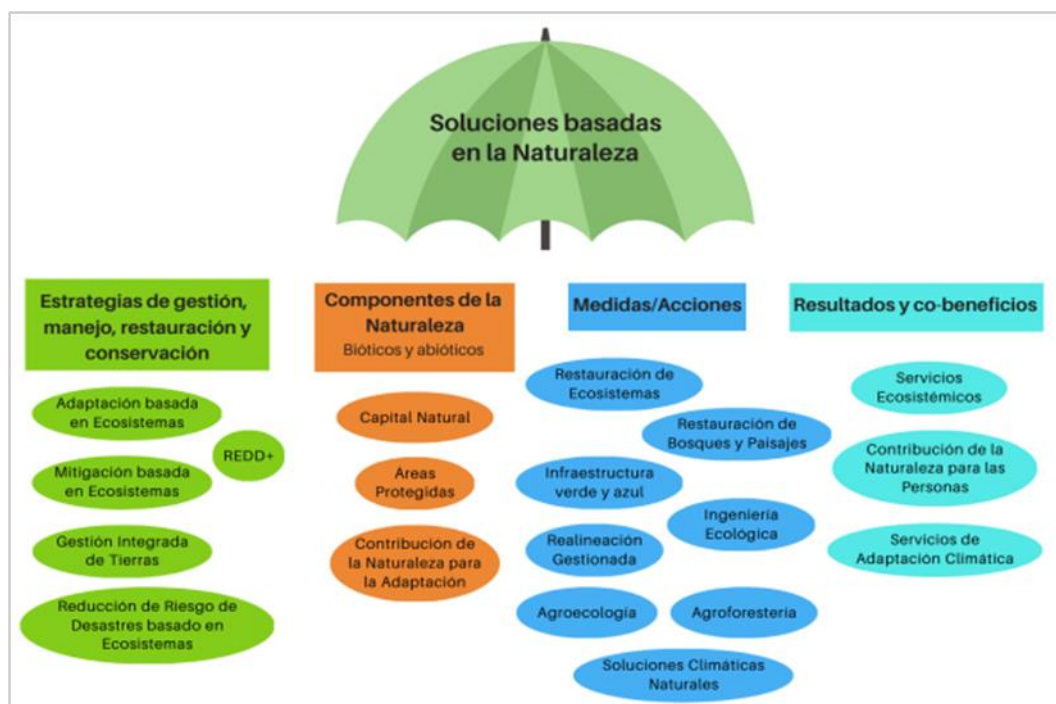
Sin embargo, no es hasta el 2016 que se tiene la primera definición de Soluciones Basadas en la Naturaleza, en la cual la UICN lo define como “acciones para proteger, gestionar y restaurar de manera sostenible los ecosistemas naturales o modificados que hacen frente a los desafíos sociales de manera efectiva y adaptativa, proporcionando simultáneamente beneficios para el bienestar humano y la biodiversidad” (UICN, 2020)

Las SbN tienen un alcance muy amplio por lo que es considerada un “concepto paraguas” que engloba diversos conceptos, pero con un objetivo común: utilizar o imitar los procesos o sistemas naturales para abordar o mitigar los desafíos ambientales que se enfrentan en lugar de depender exclusivamente de las soluciones convencionales (MMMAPA, 2023; Zucchetti et al, 2020).

En relación con los diversos conceptos que involucran las SbN, ERIDANUS y el Centro de Acción Climática PUCV proponen una clasificación de cuatro subgrupos (ERIDANUS-PUCV, 2023):

1. El primer subgrupo se refiere a estrategias enfocadas en la gestión, manejo, restauración y conservación de los ecosistemas.
2. El segundo subgrupo alude a los componentes de los ecosistemas y la naturaleza, necesarios para desarrollar una SbN.
3. El tercer subgrupo abarca conceptos enfocados en las medidas y acciones para implementar una solución o estrategia.
4. El cuarto subgrupo engloba los resultados y co-beneficios obtenidos de la implementación de las SbN, así como el conjunto de elementos combinados.

Figura 3. Conceptos que se enmarcan en las Soluciones basadas en la Naturaleza



Fuente: Tomado de ERIDANUS-PUCV (2023)

Entre las estrategias de gestión, manejo, restauración y conservación encontramos a la iniciativa REDD+. La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), describe a la misma de la siguiente manera: "REDD+ es una iniciativa internacional que busca reducir las emisiones de gases de efecto invernadero derivadas de la deforestación y la degradación forestal en países en desarrollo" (CMNUCC, 2022).

Según el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), "REDD+ reconoce la importancia de integrar las soluciones basadas en la naturaleza en los programas y políticas destinados a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y promover el desarrollo sostenible. Esta integración permite maximizar los beneficios ambientales, sociales y económicos, contribuyendo así a alcanzar los objetivos de mitigación del cambio climático y conservación de la biodiversidad, REDD+ reconoce la importancia de considerar soluciones basadas en la naturaleza en el contexto de la planificación y desarrollo de infraestructuras sostenibles" (PNUD, 2022).

Dentro de las Medidas/Acciones, los conceptos que destacan en relación a los servicios que brinda el MOP son: la infraestructura verde y azul, e ingeniería ecológica. Las cuales según el informe "Nature-Based Solutions for Urban Resilience" del World Bank Group (2018), se pueden definir de la siguiente manera:

- **Infraestructura Verde:** Sistemas y prácticas que usan o imitan procesos naturales para mejorar la sostenibilidad urbana. Esto incluye parques, jardines, techos verdes, paredes verdes, y corredores verdes. Ayudan a gestionar las aguas pluviales, reducen las temperaturas urbanas, mejoran la calidad del aire y proporcionan hábitat para la fauna urbana, además de ofrecer beneficios estéticos y recreativos.

- **Infraestructura Azul:** Compuesta por cuerpos de agua y sistemas hídricos diseñados o gestionados de manera sostenible que imitan las características y funciones de los sistemas naturales. Esto incluye humedales, lagos, estanques, y la restauración de ríos y arroyos. Están principalmente orientadas a la gestión y purificación del agua, control de inundaciones, y recarga de acuíferos, además de proporcionar recreación y hábitat para especies acuáticas y terrestres. En contraste con las infraestructuras tradicionales, las infraestructuras verdes aprovechan los ecosistemas naturales, desarrollando soluciones que armonizan con las características hidrológicas locales y que minimizan el impacto de fenómenos climáticos extremos, como fuertes lluvias o escorrentías. Estas soluciones se basan en la utilización de elementos naturales, como humedales, parques, pantanos y bosques, entre otros. Además, las infraestructuras verdes se caracterizan por un enfoque integral de cuenca, que considera la escala de la unidad hidrográfica y promueve la conservación de los ecosistemas y el uso sostenible del suelo existente (DEUMAN, 2018).

En general se consideran tres tipos de infraestructura verde:

- *Costa:* arrecifes de coral, dunas, marismas, lechos de ostras y pastos marinos
- *Terrestre:* silvicultura (forestación, reforestación, deforestación evitada), humedales
- *Urbano:* techos verdes / fachadas, espacios verdes y corredores, jardines de lluvia, bioswales o drenajes sostenibles y colectores de agua de lluvia para su aprovechamiento.

Hoy en día se utiliza el término de infraestructura verde haciendo referencia a la gestión sustentable, conservación y restauración de ecosistemas para reducir el riesgo de desastres, similar al concepto de reducción del riesgo de desastres basado en ecosistemas (DEUMAN, 2018).

La implementación de infraestructuras verdes por parte del Ministerio de Obras Públicas puede enfrentar diversas dificultades. Estas incluyen la necesidad de adaptar las prácticas y tecnologías existentes a nuevos enfoques más sostenibles, lo que puede requerir capacitación y desarrollo de capacidades dentro del personal del MOP. Además, la inversión inicial puede ser más alta que en enfoques convencionales, lo que podría plantear desafíos financieros. La coordinación con otros ministerios y entidades gubernamentales también es fundamental, especialmente en proyectos que requieren la gestión integrada de recursos hídricos y territoriales. La participación y aceptación comunitaria, así como la necesidad de superar **resistencias** sectoriales, también pueden representar obstáculos en la implementación de infraestructuras verdes.

- **Ingeniería Ecológica,** es el diseño de ecosistemas sostenibles que integran la sociedad humana con su entorno natural para beneficio mutuo (Mitsch, 2004). El MOP puede implementar la ingeniería ecológica en sus proyectos mediante la integración de principios y prácticas sostenibles en todas las etapas de desarrollo de infraestructura. Esto incluye el diseño de obras públicas que utilizan materiales naturales y técnicas de construcción sostenibles, la restauración de ecosistemas degradados, la gestión eficiente de recursos hídricos, el control de la erosión y la estabilización de suelos, y la implementación de programas de monitoreo ambiental para evaluar el impacto de los proyectos en el medio ambiente.

Estos conceptos tienen una base científica en sus orígenes, adoptan un enfoque más específico para abordar problemas concretos y buscan integrar infraestructura tecnológica junto con alternativas naturales (ERIDANUS-PUCV, 2023)

En la literatura también podemos encontrarnos otros conceptos relacionados a infraestructura verde como:

- **Infraestructura ecológica**, que se refiere a la estructura constituida por el paisaje y las áreas naturales para organizar espacialmente las ciudades (Zucchetti et al., 2020).
- **Infraestructura natural**, empleado inicialmente para enfatizar la importancia de los humedales, su expresión es amplia e integral, y adquiere un significado diferente dependiendo del usuario y de la escala de su aplicación: funciones, servicios ambientales, beneficios sociales o en el planeamiento del territorio (Zucchetti et al., 2020).

Así como definiciones complementarias sobre tipos de infraestructuras:

- **Infraestructura gris**, corresponde a las infraestructuras tradicionales, que suelen estar construidas con materiales como hormigón, acero o ladrillo. Aunque estas infraestructuras se diseñan para cumplir propósitos específicos en beneficio de la sociedad, en un contexto de cambio climático es posible que no consideren aspectos importantes como la mitigación y la adaptación al cambio climático. Por ejemplo, pueden no contribuir a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, no ayudar a reducir la temperatura en áreas urbanas afectadas por el efecto de isla de calor, o no tener en cuenta la huella ecológica asociada con el uso de materiales contaminantes fabricados mediante procesos industriales (Hernández, 2018 citado en DEUMAN, 2018)
- **Infraestructura marrón**, son las actividades asociadas al movimiento de tierra por rellenos y dragados en playas y cauces de ríos y elementos de protección ribereña erosionados o colmatados (Hernández, 2018 citado en DEUMAN, 2018). Estas infraestructuras son esenciales para la gestión de tierras y recursos hídricos, ayudando a mantener la integridad y funcionalidad de los ecosistemas y las infraestructuras asociadas.
- **Infraestructura mixta o híbrida**, Así como existe la infraestructura verde y gris, existe también lo que se denomina infraestructura integrada, debido a como su nombre lo dice, integra componentes de infraestructura gris con infraestructura verde (Hernández, 2018 citado en DEUMAN, 2018). Estas infraestructuras aprovechan tanto los beneficios de la naturaleza como los de la ingeniería, ofreciendo soluciones que son resilientes, sostenibles y capaces de adaptarse al cambio climático.

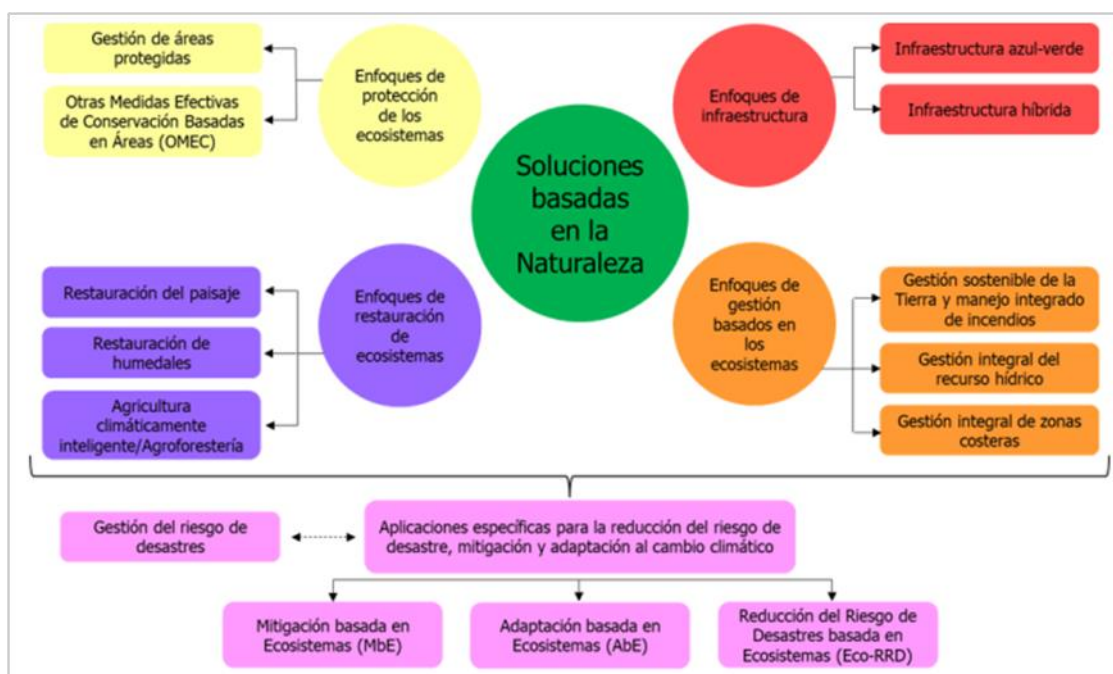
Las tendencias actuales se orientan a implementar medidas de infraestructura mixta o híbrida, siendo una de las interrogantes a discutir en qué proporción de infraestructura gris o verde debería ser expandida o reducida las medidas. Para determinar la combinación óptima en una determinada zona del territorio, deben ser evaluadas la efectividad de la infraestructura híbrida en la reducción de desastre, el aumento de la resiliencia, así como también los costos/beneficios sociales y económicos (Hernández, 2018).

4.1.1. Enfoques de las Soluciones Basadas en la Naturaleza

Al igual que la variedad de conceptos que integran las SbN existe una diversidad en su clasificación. Por ejemplo, una clasificación puede basarse en los resultados previstos (Adaptación basada en Ecosistemas, Reducción de Riesgos de Desastres basada en Ecosistemas, Soluciones Climáticas Naturales) o en las acciones específicas implicadas (Restauración ecológica, Infraestructura verde y azul) (ERIDANUS-PUCV, 2023).

Asimismo, la clasificación también puede estar basada en enfoques relacionados con los ecosistemas, entre los que se encuentran: enfoques de gestión basados en ecosistemas, enfoques de restauración de ecosistemas, enfoques de protección de los ecosistemas y enfoques de infraestructura (Ayazo-Toscano y Hernández-Palma, 2021).

Figura 4. Enfoques de SbN relacionados a los ecosistemas



Fuente: Tomado de Ayazo-Toscano y Hernández-Palma (2021) ajustado de Cohen-Shacham et al. (2016)

Dentro de ellos, para el propósito de este estudio se destaca el "Enfoque de Infraestructura", que guarda una estrecha relación con la planificación urbana y periurbana, así como con la planificación del suelo rural. Este enfoque integra elementos "verdes" y "azules", como árboles y humedales, además de enfoques híbridos que combinan infraestructuras verdes/azules con grises, como tejados verdes, diques verdes y sistemas de drenaje sostenibles (Ayazo-Toscano y Hernández-Palma, 2021).

Ejemplos de Infraestructura Verde son los elementos basados en la tierra, como bosques, parques, árboles, plantas y dunas de arena. Mientras tanto, la Infraestructura Azul abarca elementos basados en agua, como ríos, lagos, pantanos, planicies de inundación, manglares, turberas, arrecifes de coral y pastos marinos (Ayazo-Toscano y Hernández-Palma, 2021).

4.1.2. Criterios de las Soluciones Basadas en la Naturaleza

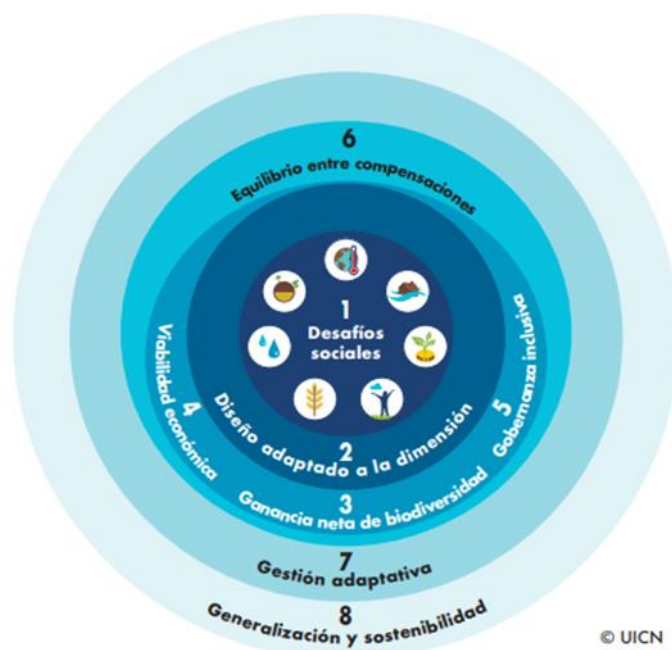
A nivel internacional se han establecido criterios que deben tomarse en cuenta para determinar si un proyecto califica como SbN.

La UICN definió ocho criterios para diseñar o verificar una SbN. Esto asegura la calidad del diseño y la ejecución del proyecto, así como permite llevar un seguimiento de los resultados para vincularlos con los objetivos globales y la narrativa científica.

Los criterios se describen a continuación (UICN, 2020; MMMAPA,2023)

1. Las SbN responden eficazmente a los desafíos sociales, con ello se busca garantizar que se atienda uno o varios desafíos sociales, priorizando aquellos que se ven o verán directamente afectados.
2. El diseño de las SbN se adapta a la dimensión, su propósito es alentar a que en el diseño se reconozca la complejidad y la incertidumbre que caracterizan las tierras y paisajes vivos y dinámicos, incluyendo los sistemas económicos, los marcos normativos y la importancia de las perspectivas culturales.
3. Las SbN dan lugar a una ganancia neta en términos de biodiversidad e integridad de los ecosistemas, al depender de los bienes y servicios ecosistémicos el diseño y la aplicación de las SbN debe evitar deteriorar la integridad del sistema y, por el contrario, intentar mejorar su funcionalidad y conectividad.
4. Las SbN son económicamente viables, esto debe tenerse en cuenta en la fase de diseño como durante el monitoreo continuo de su implementación, de esta forma se logra la rentabilidad, eficiencia, eficacia y equidad en la distribución de beneficios y costos.
5. Las SbN se basan en procesos de gobernanza inclusivos, transparentes y empoderadores, esto requiere que se considere y aborde las preocupaciones de los interesados directos, cumpliendo con las leyes y regulaciones vigentes y estableciendo claramente responsabilidades legales.
6. Las SbN ofrecen un equilibrio equitativo entre el logro de sus objetivos principales y la provisión constante de múltiples beneficios, con ello se busca gestionar de forma eficaz y equitativa las compensaciones.
7. Las SbN se gestionan de forma adaptativa en base a datos, esto facilita el aprendizaje continuo de los procesos sistémicos y la adaptación de las SbN a los cambios en los sistemas.
8. Las SbN son sostenibles y se integran en un contexto jurisdiccional adecuado, exige que las SbN se diseñen y administren con una visión a largo plazo, considerando los marcos normativos, reglamentarios, objetivos nacionales e internacionales, entre otros.

Figura 5. Criterios que integran el Estándar Global de SbN



Fuente: Tomado de UICN (2020)

4.1.3. Servicios Ecosistémicos

Las soluciones basadas en la naturaleza, además de la protección de las amenazas climáticas al moderar el impacto de los eventos extremos, proporcionan numerosos servicios ecosistémicos que contribuyen a la resiliencia socioeconómica y al atractivo del territorio. Al preservar la biodiversidad y mejorar la calidad del medio ambiente, las SbN tienen el potencial de generar diversos valores agregados: el valor productivo a través de la producción sostenible de los recursos naturales - utilizados particularmente en los sectores pesquero, agroalimentario o construcción -; valor climático con el secuestro de carbono; valor cultural y recreativo que fomenta el turismo y el bienestar de la población; valor educativo; y valor inmobiliario. A esta creación de valor puede añadirse el ahorro en costes sanitarios gracias a la mejora de las condiciones de vida, en la descontaminación de los componentes ambientales, el tratamiento de las aguas residuales y el ahorro energético, lo que beneficia tanto a los ciudadanos como a las comunidades.

La literatura agrupa los diversos servicios ecosistémicos en función a sus funciones en el ecosistema en cuatro categorías principales: (De Groot et al, 2000)

- **Funciones de regulación.** Las funciones de regulación comprenden los procesos naturales - como el ciclo biogeoquímico - que ayudan a mantener el equilibrio ambiental y la estabilidad de los ecosistemas. Estos servicios incluyen la regulación del clima, la purificación del aire y el agua, el control de la erosión y la mitigación de riesgos naturales como inundaciones y deslizamientos. Además, los ecosistemas regulan la polinización de cultivos y la dispersión de semillas, esenciales para la agricultura y la biodiversidad. Estos procesos no solo contribuyen al bienestar humano, sino que también generan resiliencia frente a fenómenos naturales y actividades humanas.

- **Funciones de Hábitat.** Esta categoría se refiere a la provisión y mantenimiento de los hábitats necesarios para la biodiversidad y los ciclos biológicos. Los ecosistemas proporcionan áreas de refugio y reproducción para especies animales y vegetales, lo que es fundamental para la conservación de la biodiversidad. A través de estas funciones, los ecosistemas aseguran la continuidad de los ciclos ecológicos y los procesos evolutivos, contribuyendo a la estabilidad y sostenibilidad de la vida en el planeta.
- **Funciones de producción o aprovisionamiento.** Los ecosistemas proveen una gran variedad de bienes materiales que son fundamentales para la supervivencia y el desarrollo humano. Estos bienes incluyen alimentos (como frutos, vegetales, peces), agua dulce, fibras, maderas, y recursos genéticos, entre otros. Además, los ecosistemas son la fuente de materias primas esenciales para diversas industrias, como la farmacéutica y la energética. Las funciones de producción subrayan la dependencia directa que tienen las sociedades humanas respecto a los recursos naturales, y la importancia de su gestión sostenible para evitar su agotamiento.
- **Funciones de Información o Culturales.** Las funciones de información o culturales se refieren a los beneficios inmateriales que los ecosistemas proporcionan a las personas. Estos incluyen el valor estético, recreativo, espiritual, y educativo de los entornos naturales. Los paisajes, parques y áreas naturales tienen un valor intrínseco que inspira a la creatividad, la recreación y el bienestar emocional. Además, muchos ecosistemas tienen un valor simbólico y espiritual para diversas culturas, y son espacios clave para el turismo ecológico, la investigación científica y la educación ambiental. Estos servicios juegan un papel crucial en la identidad cultural y en la salud mental y física de las comunidades humanas.

Figura 6. Tipologías de servicios ecosistémicos



Fuente: Tomado de WWF (s.f)

Para decidir entre una solución gris y una SbN, es importante recurrir a un análisis multicriterio que tenga en cuenta todos estos factores, a pesar de la dificultad de cuantificar el valor de estos beneficios. Aunque a veces los costes de las soluciones grises sean inferiores a los de soluciones complejas como la restauración de ecosistemas, las SbN pueden resultar económicamente más rentables a largo plazo (Eunice et al., 2022).

4.2. Aplicación de Soluciones Basadas en la Naturaleza bajo el enfoque de Infraestructura

4.2.1. Benchmarking de experiencias internacionales

Mediante un análisis de bases de datos internacionales, bibliografía e informes de estudios de casos de Soluciones basadas en la Naturaleza (o con un enfoque asociado a SbN) centrado en la infraestructura, es decir, aquellos en los que se ha implementado infraestructura verde-azul y marrón, se han identificado experiencias internacionales de proyectos ejecutados, total o parcialmente, que están en cierta medida vinculadas a las competencias establecidas para el Ministerio de Obras Públicas.

A continuación, se presentan algunos casos recopilados en diferentes regiones geográficas, incluyendo Latinoamérica, Norteamérica, Europa, Oceanía y Asia, cuyo mayor detalle se describe en el **Anexo 1**.

Latinoamérica

CASO 1: *Aumento de las superficies verdes y disminución de las inundaciones, Buenos Aires, Argentina.*

- **Desafío:** Incremento de temperatura media anual de la ciudad, olas de calor e inundaciones
- **Medidas SBN:** Plan de Ordenamiento Hidráulico que contempla construcción de nuevos taludes de césped para desviar el agua a los reservorios, ampliación de parques y espacios verdes, rediseño de parques para aumentar su capacidad como amortiguador de lluvias, implementación de cubiertas verdes en instituciones educativas y recreativas, y jardines de lluvia.

CASO 2: *Aplicación de medidas seguras (no-regret) en la Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochas, Perú.*

- **Desafío:** Periodos de sequía más largos y patrones de precipitaciones más intensos.
- **Medidas SBN:** Restauración de la infraestructura hidráulica local precolombina, de un embalse natural de agua y de humedales naturales en el área de captación aguas arriba de la cuenca.

CASO 3: *Adaptando Ayacucho al cambio climático. Arborización urbana y periurbana de Huamanga, Perú.*

- **Desafío:** Alta radiación solar, precipitaciones intensas y deslizamientos vinculados a ellas, además de escasez de agua.

- **Medidas SBN:** Arborización de laderas para mitigar riesgos de deslizamientos durante las lluvias, complementado con la creación de pequeños reservorios (qochas) para almacenar agua.

CASO 4: *Ciudad Dulce: Enfrentando el Cambio Climático y la Pérdida de Biodiversidad en la Costa Rica Urbana*

- **Desafío:** Restablecer el equilibrio entre las zonas urbanas y naturales, preservar e incrementar la biodiversidad en la ciudad y gestionar el cambio climático.
- **Medidas SBN:** Paredes verdes o jardín vertical, cercas vivas, pérgolas verdes, techos verdes, jardines de lluvia, cunetas verdes.

CASO 5: *Belén: causas, efectos y respuesta ante los desbordamientos de la quebrada seca, Costa Rica.*

- **Desafío:** Inundación por precipitaciones intensas que afectan las infraestructuras públicas, la red de servicios de abastecimiento básicos, vías de comunicación, entre otros.
- **Medidas SBN:** Medidas para el control hidrológico como: sistemas de retardo/retención, pavimento permeable en zonas de parqueo vehicular, cubiertas verdes y se diseñó un parque inundable llamado parque Utí.

CASO 6: *Parque Orla Piratininga (POP), Brasil.*

- **Desafío:** Lago Piratininga altamente degradado por la ocupación desorganizada, polución difusa por sedimentos, aguas residuales y residuos sólidos, y con peligro de inundación.
- **Medidas SBN:** Se emplearon: aliviaderos a base de gaviones de mortero y colchón Reno, cuenca de sedimentación para minimizar la contaminación difusa, jardines filtrantes o humedales, jardines de lluvia y biovaletas.

CASO 7: *Corredor verde de Recreio - Río de Janeiro, Brasil.*

- **Desafío:** Adaptación al cambio climático, protección costera, protección contra inundaciones.
- **Medidas SBN:** Corredor verde donde se implementaron sistemas de drenaje urbano sostenible, calles verdes multifuncionales, islas verdes y paradas de autobús verdes.

CASO 8: *Corredores Verdes, Loja, Ecuador*

- **Desafío:** Islas de calor, riesgos a inundaciones, deslizamientos y erosión de los suelos.
- **Medidas SBN:** Corredores verdes que rodean la periferia de la urbe que generen la conectividad y movilidad entre espacios verdes existentes y propuestos.

Norteamérica

CASO 9: *Isla del Cisnes (Bahía de Chesapeake, Maryland), Estados Unidos.*

- **Desafío:** La isla presenta altas tasas de erosión y hundimiento de la costa que ha deteriorado su hábitat natural y reducido su capacidad para proteger la ciudad cercana.
- **Medidas SBN:** Plan de restauración que incluye la creación de dunas bajas y marismas intermareales altas y bajas, empleando sedimento dragado de un proyecto cercano.

CASO 10: *Proyecto Green Street de Edmonston, Maryland, Estados Unidos.*

- **Desafío:** Inundaciones debido a prácticas deficientes de gestión de aguas pluviales, y la escorrentía contaminada.
- **Medidas SBN:** Implementación de jardines de lluvia con plantas nativas (62% del área de la calle) y senderos para bicicletas con pavimento permeable (28% del área de la calle).

Europa

CASO 11: *Proyecto Medmerry, Inglaterra.*

- **Desafío:** Inundaciones recurrentes y pérdida de hábitats costeros de importancia ambiental
- **Medidas SBN:** Empleo de vegetación natural como barrera física y reconfiguración de la infraestructura construida para trasladar tierras interiores hacia la costa.

CASO 12: *Desarrollo de las marismas de Marconi, Países Bajos*

- **Desafío:** Aumento del nivel del mar y hundimiento del suelo, lo que plantea desafíos para la seguridad costera y la gestión de usos del área
- **Medidas SBN:** Construcción de marismas a lo largo de la costa. Asimismo, se reubicó y reforzó el malecón existente para crear una conexión entre la ciudad y las marismas.

CASO 13: *Parque Fluvial del Besos, España*

- **Desafío:** El empleo de muros de hormigón para controlar las inundaciones degradaba la cuenca y destruía su ribera.
- **Medidas SBN:** Reemplazo de infraestructura con un parque que contempló la construcción de humedales, parcelas de carrizal y prados, con caminos urbanos perimetrales; amplias zonas verdes con vegetación ruderal en los rompeolas de ciertos tramos del río y estabilización del cauce con vegetación halófila y arbustos propios del ecosistema.

CASO 14: *Jardín Vertical del Palacio de congresos de Vitoria-Gasteiz, España*

- **Desafío:** Aumento de temperatura media, olas de calor
- **Medidas SBN:** Empleo de sistema de jardín vertical "f+p preplant" en la fachada, un sistema de jardinería hidropónico que facilita su instalación, con especies autóctonas donde se reproducen los ecosistemas adyacentes.

CASO 15: *LEAFSKIN-Estructuras verdes de sombra en la calle Santa María, Valladolid, España*

- **Desafío:** El espacio limitado de las calles hace difícil brindar sombra a través de medidas convencionales.
- **Medidas SBN:** Cobertura verde que consiste en un material textil tensado donde se coloca sustrato con semillas vegetales para su crecimiento y se suspende sobre el suelo.

Asia

CASO 16: *Construir con la Naturaleza, Indonesia*

- **Desafío:** Erosión costera y peligro de inundación

- **Medidas SBN:** Colocación de presas permeables hechas de material de la zona que rompen las olas y atrapan los sedimentos, recuperando la tierra para la recolonización de los manglares.

CASO 17: *Parque Bishan, Singapur.*

- **Desafío:** Red de canales y desagües de hormigón prevenían inundaciones, pero se perdía el agua de lluvia, más aun habiendo un aumento en la demanda de agua en la ciudad.
- **Medidas SBN:** Rediseño del parque para que sirva como llanura de inundación. Meandros ralentizan el flujo de agua. Se utilizaron técnicas de ingeniería civil junto con estrategias de bioingeniería del suelo para el control de la erosión y principios de diseño biofílico.

CASO 18: *Restauración del arroyo Cheonggyecheon, Corea del Sur*

- **Desafío:** Autopista principal en estado de obsolescencia. Frente a tormentas e inundaciones, evolución de las temperaturas medias y efecto isla de calor.
- **Medidas SBN:** Desmantelación de la autopista, se construyeron pantanos de aguas poco profundas y marismas de sauces nativos. Piedras naturales unen las dos orillas, creando pasarelas y ayudando a regular la velocidad y los niveles del agua.

Oceanía

CASO 19: *Humedales del arroyo Cup & Saucer, Australia*

- **Desafío:** Arroyo transformado en un canal de concreto, que mejora el drenaje pluvial, pero también acelera el transporte de contaminantes a los cuerpos de agua cercanos.
- **Medidas SBN:** Implementación de humedales diseñados para capturar sedimentos y eliminar contaminantes como nitrógeno y fósforo, que cuentan con piscinas densamente plantadas.

CASO 20: *Proyecto de restauración de arroyos vivos Bannister Creek, Australia*







- **Desafío:** Cuenca con drenajes rectos de hormigón, erosionados e infestados de maleza.
- **Medidas SBN:** Creación de meandros, rápidos, bancos de suave pendiente y bancos con mucha vegetación. Se contó con el apoyo de la comunidad local en trabajos de revegetación, eliminación de malezas, apoyando la educación escolar y los eventos comunitarios.

4.2.2. Análisis crítico de tres experiencias internacionales de SbN: Aprendizajes y brechas

Dentro de las experiencias internacionales identificadas, se realizó un primer filtro de los casos, ejecutados parcial o totalmente, seleccionando aquellos con los cuales se contaba con mayor información sobre su implementación y desempeño, lo que resultó en un total de 9 experiencias detalladas en el **Anexo 1**. De esta primera lista, se destacaron 5 experiencias afines a diferentes direcciones del MOP. Finalmente, mediante acuerdos internos con el MOP, se definieron 3 experiencias como las más significativas para abordar dentro de este estudio.

A continuación, se presenta un análisis detallado del contexto de implementación, la descripción del proyecto, los resultados obtenidos y las lecciones aprendidas de los tres estudios de casos. Estas

aplicaciones de SbN pueden ser replicables en cierta medida por parte de algunas direcciones del MOP, adaptadas al contexto nacional.




Proyecto Corredores Verdes, Medellín, Colombia (UNE Programme, 2023; C40 Knowledge, s.f.)		
	Contexto	Medellín registró la mayor intensidad diurna del efecto isla de calor (UHI). Se estima que para el período entre 2040 y 2050, durante 150 días al año, la temperatura superará el umbral de 29 °C. Este incremento, combinado con el aumento general de la temperatura debido al cambio climático, podría exacerbar sus efectos.
	Amenazas Abordadas	<ul style="list-style-type: none"> ○ Aumento de temperatura media ○ Olas de calor
	Descripción del proyecto	<p>El proyecto fue implementado por el Gobierno de Medellín entre 2016 y 2019 (Alcaldía de Medellín 2021) e incluye 36 corredores (18 asociados al sistema de transporte y 18 asociados a arroyos y cerros), abarcando 65 hectáreas con 10 270 árboles, arbustos y palmeras.</p> <p>El proyecto tiene como objetivo revertir los impactos negativos de la alta intensidad de la isla de calor urbana (UHI) y la contaminación sobre el medio ambiente y la salud pública.</p>
	Resultados obtenidos	<ul style="list-style-type: none"> ○ 2°C de reducción en promedio ○ 160.787 kg de CO2/año ○ 678 muertes relacionadas a problemas cardíacos evitadas ○ 75 personas de la localidad pertenecientes a entornos más desfavorecidos contratadas en jardinería
	Lecciones Aprendidas	<ul style="list-style-type: none"> ○ La elección de las especies de árboles y plantas es decisiva para un proyecto de esta índole. ○ Es necesaria una verdadera experiencia en materia de planificación urbana. ○ Son necesarias grandes inversiones, pero los beneficios sostenibles esperados son elevados a largo plazo ○ Selección de las zonas más concurridas para un mayor impacto
	Dirección del MOP relacionada	Dirección General de Concesiones / Dirección de Vialidad ⁸

⁸ Se considera las intervenciones de la Dirección de Vialidad en caminos rurales, ya que en caminos urbanos interviene solo en ciertas excepciones

Figura 7. Corredores verdes de Medellín, Colombia



Fuente: Tomado de UNE Programme (2023)

Proyecto City Adapt. Cuenca Arenal Monserrat, El Salvador (UNE Programme, 2023; CityAdapt, 2023)		
	Contexto	La parte alta de la microcuenca Arenal Monserrat se caracteriza por ser una de las principales zonas con alto riesgo a derrumbes al poseer la cobertura boscosa más extensa en toda la microcuenca, al igual que las pendientes más fuertes. La mayor parte del área del volcán está cubierta por cafetales y pastizales, que se han visto afectados por los períodos de sequía extendidos y los cambios en uso de suelo.
	Amenazas Abordadas	<ul style="list-style-type: none">○ Riesgo de derrumbes○ Inundaciones○ Sequías
	Descripción del proyecto	Se evaluaron los puntos críticos y se implementaron Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) mediante zanjas de infiltración y pozos de absorción en las áreas prioritarias de recarga del acuífero, además de reforestación de los bosques. Estas medidas benefician el control de la sequía y la erosión en áreas agrícolas, así como la prevención de inundaciones en zonas urbanas densas. Esta estrategia garantiza la conservación del suelo y la recarga del acuífero, complementando la capacidad del embalse construido para mitigar el flujo violento de agua y reducir los caudales pico.




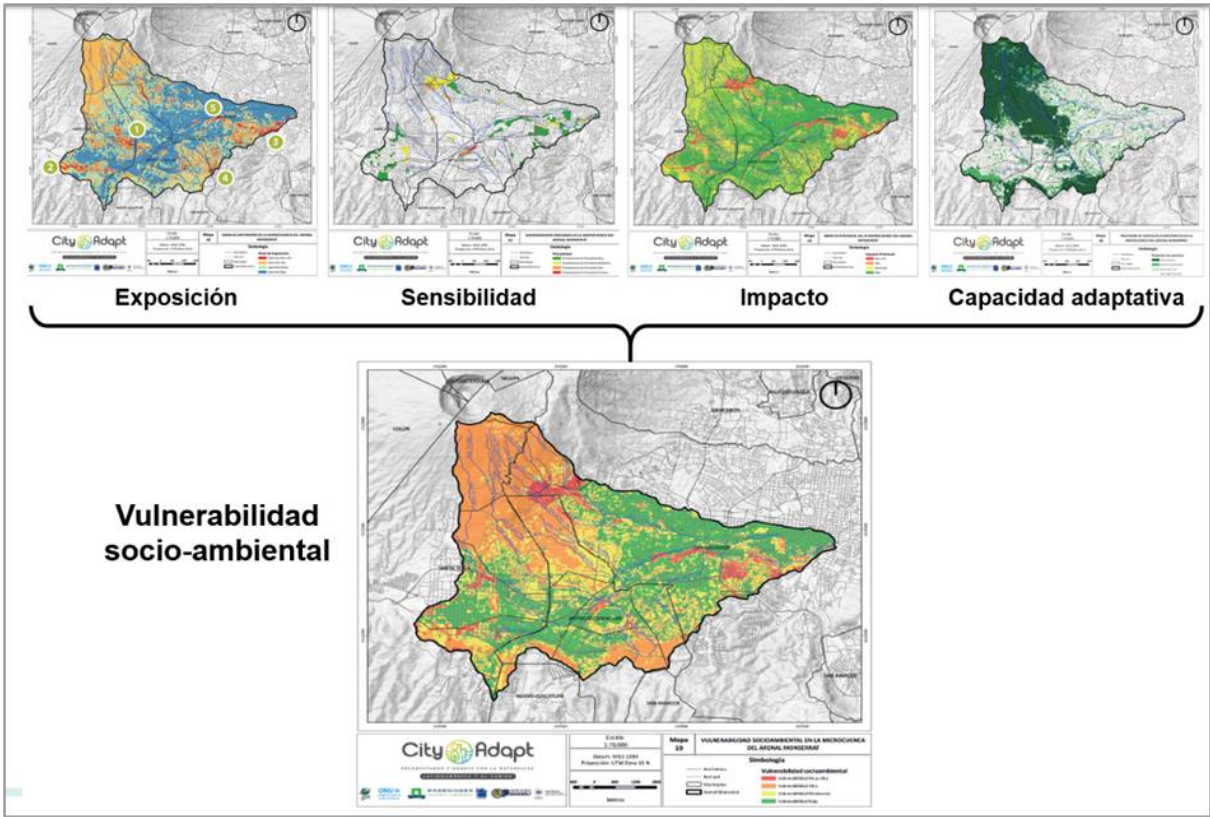
	Resultados obtenidos	<p>Zanjas:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 390,544.63 m3 de infiltración potencial durante 1 año (148 días de lluvia) ○ Medición de humedad del suelo en época seca: 21.65%- 51.8% ○ Reducción del 75% en la tasa de erosión (periodo 2021-2022) <p>30 pozos de absorción:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 7,673.80 m3 de infiltración potencial durante 1 año (148 días de lluvia)
	Lecciones Aprendidas	<ul style="list-style-type: none"> ○ En el análisis de vulnerabilidad es clave la identificación de los actores y que puedan tener acceso a la información generada ○ La falta de datos de población llevó a la elaboración de un protocolo para levantar la información. ○ El involucramiento de los gobiernos locales es importante, ya que tienen dominio y conocimiento de los actores claves. ○ Definición de los indicadores de impacto vinculados a los servicios ecosistémicos que la medida produce o fortalece, con base a la literatura revisada. ○ No se debe asumir que la medida es deseada para la mayoría de las personas. Es necesario brindar la información más significativa y relevante localmente a través de formatos y lenguaje adecuados.
	Dirección del MOP relacionada	<p>Dirección General de Obras Públicas Dirección de Obras Hidráulicas</p>

Figura 8. Estimación de la vulnerabilidad en la cuenca Arenal-Monserrat para implementación de las medidas SbN



Fuente: Tomado de CityAdapt (s.f)

Proyecto Abastecimiento de arena - Dunas de Hondsbossche, Países Bajos (Kroon et al, 2022; CityAdapt, 2023)		
	Contexto	Los diques marinos de Hondsbossche y Pettemer ya no cumplían las normas de seguridad actuales. Según una prueba de seguridad provisional realizada en 2003, no se podía garantizar la seguridad contra inundaciones entre Petten y Camperduin. En 2004, la Dirección General de Obras Públicas y Gestión del Agua de los Países Bajos designó la costa como uno de los eslabones débiles.
	Amenazas Abordadas	<ul style="list-style-type: none">○ Inundación○ Erosión costera
	Descripción del proyecto	<p>El proyecto tenía una doble finalidad: mejorar la seguridad contra inundaciones y la calidad del entorno. En 2015, se reforzó el dique con una barrera suave y natural de 30 millones de metros cúbicos de arena en la orilla del mar, conocida como "Dunas de Hondsbossche".</p> <p>Este proyecto consiste en una playa suave y poco profunda y un variado paisaje de dunas artificiales que tienen el potencial de convertirse en valiosos hábitats naturales. Estos sistemas interconectados son la principal defensa contra inundaciones y contribuyen a mejorar la calidad del entorno.</p>




	Resultados obtenidos	<p>La duna experimentó un equilibrio de sedimentos positivo durante un período prolongado después de su instalación, lo que contribuyó significativamente al crecimiento del volumen de las dunas y a su capacidad para proteger contra inundaciones.</p>
	Lecciones Aprendidas	<ul style="list-style-type: none"> ○ A nivel local, un ancho de playa reducido disminuye las tasas de crecimiento de las dunas, lo que indica que la configuración a gran escala de la zona de playa y duna determina el suministro de arena. ○ Al menos el 50% del aumento total de volumen del área de dunas proviene del área submarina, bajo la marea alta media. Además, el volumen total de crecimiento de las dunas es aprox. 1/3 de la pérdida total de volumen en la playa y el área submarina. ○ La geometría de las dunas puede optimizarse considerando aspectos como su altura y anchura. Se sugiere que una duna con una parte baja hacia el mar permite un desarrollo dinámico, pero desde el punto de vista de la seguridad, una duna estrecha pero alta es más óptima, porque no aumentan mucho de altura después de su construcción. Por lo que, el nivel de la duna debe considerarse desde el inicio.
	Dirección del MOP relacionada	<p>Dirección de Obras Portuarias</p>

Figura 9. Dique marítimo de Hondsbossche (línea naranja) antes y después del abastecimiento de arena



Fuente: Tomado de Kroon et al. (2022)

4.2.3. Experiencias en Chile

En términos generales, a nivel nacional, el número de proyectos ejecutados que han implementado SbN con un "enfoque de infraestructura" y que cumplen plenamente con los criterios establecidos en el Estándar Global de SbN, es limitado. Además, al considerar las competencias del Ministerio de Obras Públicas relacionadas con las acciones implementadas en cada proyecto, el número de proyectos se reduce aún más.

Teniendo en cuenta lo mencionado, en la **Tabla 16** se presentan 9 proyectos de SbN con enfoque de infraestructura aplicados en Chile, destacando entre ellos 4 experiencias gestionadas por el MOP. Los proyectos nacionales identificados se distinguen por la colaboración de las autoridades con otras partes interesadas para diagnosticar la problemática y, a partir de ello, elaborar estrategias para su gestión implementando infraestructura verde-azul, contando en la mayoría de los casos con el apoyo del gobierno, ciudadanía y la academia. Respecto a los proyectos gestionados por el MOP, estos se caracterizan principalmente por ser parques urbanos inundables implementados para gestionar las inundaciones y reducir la contaminación en las urbes.

Tabla 16. Proyectos de infraestructura SbN implementados en Chile

Proyecto	Contexto	Propuesta	Relación con MOP
Plan de Infraestructura Verde de Santiago	Las dinámicas urbanas produjeron una constante colisión con el sistema natural. Esta desarticulación produce muchos problemas ambientales como: aumento en la superficie sellada y de temperaturas atmosféricas, desaparición de la vegetación, interrupción de la ventilación, flujos de sedimento, agua y mayor exposición de los ecosistemas locales y la población.	<p>La implementación del Plan conlleva 10 estrategias y 47 acciones, entre las que podemos destacar:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● <i>Innovar en estándares de diseño de Infraestructura Verde</i> <ul style="list-style-type: none"> - Fortalecer criterios de sostenibilidad como: origen nativo de especies, bajo consumo hídrico, uso de árboles perennes y no alérgenos, paisajismo menos intensivo - Inclusión de los estándares de diseño y criterios de sostenibilidad en TdR, contratos, certificaciones ambientales, entre otros. - Sustituir franjas florales alóctonas por masas autóctonas. ● <i>Fortalecer los mecanismos de mantención de los espacios verdes</i> <ul style="list-style-type: none"> - Desarrollar pilotos de sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDs), cosecha de aguas lluvia y reciclaje de aguas grises para el riego de áreas verdes. 	La Dirección General de Concesiones puede gestionar los proyectos de infraestructura para que estas cuenten con especificaciones vinculadas a estándares de infraestructura verde.
Parque Humedal Baquedano/ Ciudad de Llanquihue	El Humedal Baquedano, localmente conocido como Hualve o bosque pantanoso, desempeña un papel importante en la mitigación de eventos de precipitación y protección contra inundaciones en la ciudad. Al mismo tiempo contribuye a la mitigación de precipitación concentrada y protección frente a inundaciones. A pesar de sus características ecológicas, el Humedal Baquedano sufre de una grave fragmentación y desconexión superficial con la red de humedales de la ciudad.	<p>En marco del Plan de Infraestructura Verde de Llanquihue se desarrolló un proyecto piloto que tuvo como objetivos:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1, Restaurar la ecología del ecosistema urbano para integrarlo de manera clave en la planificación de la ciudad. 2, Integrar programas sociales en las iniciativas de restauración para promover el sentido de pertenencia comunitaria. 3, Conectar la diversidad de parches de humedales mediante circuitos y corredores que permitan conexiones sociales y ecológicas. 	<p>Al ser los humedales fuentes de recursos hídricos la Dirección General de Aguas puede realizar una planificación hídrica para su gestión sostenible.</p> <p>La Dirección de Vialidad puede complementar la construcción de caminos con componentes de infraestructura verde.</p>

		Se han implementado acciones de infraestructura verde, como franjas de movilidad. Estas franjas incluyen manejo del suelo, diseño de franjas de infiltración, circuitos peatonales con grava fina para la infiltración y pasarelas elevadas para regular la accesibilidad, permitiendo la recuperación ecológica y función hidrológica del humedal.	
Parque Kaukari del río Copiapó	Ante las crecidas del río Copiapó estaba por construir obras de "defensa del río"; sin embargo, la solución estándar lo transformaba en un cauce con un fondo plano y muros laterales para la contención de la crecida, pero que impedían el acceso a las riberas.	El proyecto plantea secciones para los diferentes caudales del río con crecidas de hasta 100 años. Dentro de las acciones se despejó el lecho, se dejó un fondo plano para que los meandros disminuyan la velocidad del río, los taludes emplean vegetación endémica, mientras que los más inclinados se protegen con rocas para evitar la erosión durante las crecidas y los revestimientos para caminatas tienen vegetación nativa o plantas de baja altura.	La Dirección de Obras Hidráulicas brinda servicios de infraestructura hidráulica como el parque diseñado para el manejo del agua.
La Ruta del Agua de San Pedro de la Paz	San Pedro de la Paz enfrenta 7 de las 9 amenazas de vulnerabilidad climática establecidas por la Convención Marco de Naciones Unidas ante el Cambio Climático (CMNUCC). Proteger la infraestructura natural de la comuna permite incrementar su resiliencia frente a situaciones críticas.	En 2018, se lanzó el proyecto "Ruta del Agua" con el objetivo de identificar y priorizar áreas para intervención y recuperación, con participación pública y política. Su propósito es democratizar el acceso a corredores verdes, proteger hábitats de aves y filtrar contaminantes del agua. Además, busca mitigar riesgos de inundación y preservar reservas hídricas. En base a ello cada comuna realizó un diagnóstico ambiental y normativo para determinar la degradación, valor ambiental, normas urbanísticas y propiedad del suelo, para priorizar los humedales que formarían parte de la Ruta del Agua.	La Dirección General de Aguas es competente de realizar planificaciones hídricas de sus recursos hídricos

Protegiendo los humedales de Valdivia	Los estudios climáticos proyectan una disminución de las precipitaciones y un aumento de las temperaturas en Valdivia, lo que podría causar sequías y lluvias intensas. Los humedales, como el de Valdivia, son cruciales para regular los flujos de agua, por lo que su conservación y manejo son esenciales para la adaptación de la ciudad a estos cambios.	Se realizó un estudio de los humedales urbanos de la comuna (2018-2019) para el cual se desarrolló un diagnóstico cartográfico, un diagnóstico socioambiental. Una vez obtenido este diagnóstico inicial, se priorizaron 3 sistemas de humedales, donde se profundizaron los estudios. Finalmente, se elaboró una propuesta de gestión de humedales donde se integraron la opinión y propuestas de la ciudadanía en general.	La Dirección General de Aguas es competente de realizar planificaciones hídricas de sus recursos hídricos
Proyectos SbN con enfoque de infraestructura con participación del MOP			
Parque Inundable de la Aguada⁹	<p>El Zanjón de la Aguada, un desagüe natural, es el cauce más importante en volumen de escorrentía torrencial de la ciudad de Santiago, después de los ríos Mapocho y Maipo.</p> <p>Históricamente, sin embargo, ha sido conocido como la "cloaca abierta" o el "patio trasero" de la ciudad de Santiago.</p>	<p>El parque inundable reemplaza la propuesta inicial del MOP de un costoso túnel de rebalse. Su principal característica es la de activarse como curso de agua alternativo ante eventuales crecidas del zanjón.</p> <p>Los elementos naturales de la quebrada (agua, piedra y vegetación) forman parte integral del parque.</p> <p>El parque se expande para incluir una laguna y una explanada de canchas, con canales ornamentales que serpentean por terrenos ondulados. Se emplean piedras naturales y de granito en los bordes de la laguna y en los canales para evocar los esteros cordilleranos. Además, se incorpora un canal de riego a cielo abierto. El uso de césped protege el suelo de la erosión por arrastre y ralentiza la velocidad en caso de lluvias, mientras que la vegetación se distribuye de manera estratégica para cumplir funciones específicas en diferentes sectores del parque.</p>	

⁹ El proyecto identificado fue una propuesta diseñada por la Pontificia Universidad Católica de Chile en el que se aprovechó de la inversión que iba a ser destinada a la propuesta de un colector subterráneo por parte de la Dirección de Obras Hidráulicas del Ministerio de Obras Públicas.

Parque Inundable La Hondonada de Río Viejo	<p>Las comunas de Cerro Navia y Pudahuel enfrentan niveles críticos de contaminación atmosférica.</p> <p>Se propone construir un parque en La Hondonada, antiguo depósito de desechos y canteras, para contrarrestar la situación.</p>	<p>Se han implementado medidas como la restauración de humedales para absorber y filtrar el agua, áreas verdes permeables que permiten la infiltración del agua en el suelo, la creación de lagunas de retención para capturar el exceso de agua durante lluvias intensas, y corredores o franjas de vegetación para estabilizar suelos y mejorar la biodiversidad.</p>
Parque de la Familia (ex Parque Fluvial Padre Renato Poblete)¹⁰	<p>La ribera del Río Mapocho se caracterizó por ser un área degradada usada como basural, además de tener un déficit significativo de áreas verdes y espacios públicos.</p>	<p>El Parque contribuye a preservar las funciones de la llanura aluvial, previene la contaminación de las aguas superficiales y restaura los suelos. Imita la forma de un meandro del río desviando el agua y nutriendo su vegetación. Ofrece vistas panorámicas de la cuenca del Mapocho, el Cerro Renca y la Cordillera, accesibles desde paseos en bicicleta o caminatas por sus bordes. Su muro de contención inclinado fomenta la interacción cercana con los ciudadanos.</p>
Parque Inundable Ramon Rada D'Agostinni	<p>El estero D'Agostinni, ubicado en la ciudad de Punta Arenas, en el estrecho de Magallanes, fue abovedado para la urbanización. En verano solía generar focos de incendio debido a la combustión de la turba seca de su lecho. Para contrarrestar ello, se optó por cubrir el suelo con escombros y residuos. Sin embargo, esto ocasionó una disminución de su capacidad para drenar el agua en crecidas, provocando inundaciones que afectaron a la infraestructura y calles circundantes.</p>	<p>Se decidió construir un parque inundable para contener y evacuar de forma controlada la crecida del estero hasta por un periodo de 100 años. Se implementaron una laguna de retención, un canal de alimentación trapezoidal y dos estanques que operan para el desvío del escurrimiento. El sistema de funcionamiento varía según el periodo otoño-invierno, de mayores precipitaciones, y primavera-verano, época seca.</p>

¹⁰ Este proyecto fue clasificado con Prioridad Presidencial, por lo tanto, su tipología es una excepción a las obras que normalmente son ejecutadas por el MOP y su proceso de desarrollo responde a circunstancias excepcionales. (https://planeamiento.mop.gob.cl/estudios/Documents/Segunda_Mision_BID/Parque_de_la_Familia_Final.pdf)

4.3. Análisis de la gobernanza de las SbN aplicadas a los servicios de infraestructura MOP

4.3.1. Marco conceptual: Ámbitos de acción del MOP

Para efectos de las competencias del MOP, las Soluciones basadas en la Naturaleza se definen como:

Las Soluciones basadas en la Naturaleza, dentro de las competencias del MOP, contempla **enfoques y prácticas que utilizan procesos y elementos naturales para diseñar e implementar infraestructuras y edificaciones sostenibles**. Estas soluciones buscan aprovechar los ecosistemas naturales, como áreas verdes, cuerpos de agua y bosques, para abordar desafíos de infraestructura, como la gestión del agua, la protección del territorio contra eventos extremos, la mitigación del cambio climático y la mejora del bienestar urbano y rural. Las SbN implican la **integración de prácticas y tecnologías que promuevan la sostenibilidad ambiental, la resiliencia y la eficiencia en la planificación, diseño, construcción y gestión de obras públicas, contribuyendo así al desarrollo territorial sostenible**.

La infraestructura verde y la infraestructura azul son dos conceptos fundamentales en la planificación urbana y la gestión de recursos naturales que buscan integrar beneficios ambientales, sociales y económicos a través de soluciones basadas en la naturaleza, ya que ambas están diseñadas para mejorar la resiliencia urbana y la calidad de vida.

El Ministerio de Obras Públicas desempeña un papel fundamental en la implementación de Soluciones basadas en la Naturaleza. Cada dirección del MOP tiene competencias específicas definidas por la normativa vigente, lo que incluye la autoridad para tomar decisiones sobre la planificación, ejecución y gestión de proyectos de infraestructura dentro de su área de competencia. En el marco de estas competencias, el MOP puede promover la integración de SbN en sus proyectos de infraestructura de diversas maneras, garantizando que se cumplan los estándares técnicos y legales aplicables.

Según el taller participativo realizado con las diferentes direcciones del MOP y actores de otros Ministerios que se llevó a cabo para el presente análisis, se pudo ver en las mesas de trabajo la distribución de participación e intereses de cada dirección según las tipologías de SBN planteadas por la consultoría. Repartiéndose en grupos de trabajo de la siguiente manera:

- a) **Conectividad:** Dirección de obras Portuarias, Dirección de Aeropuertos, Dirección de Vialidad
- b) **Protección del territorio frente a eventos extremos:** DOH, DGA, MINVU
- c) **Edificación pública sustentable y resiliente:** Dirección de Arquitectura, MINVU,

Esta distribución, que se dio de manera orgánica, habla de las tipologías a considerar integrar en las diferentes direcciones y a su vez relaciones virtuosas a tener en cuenta en el momento de trabajar en la integración de SbN tanto al interior del MOP como con otros ministerios.

Sin embargo, es importante reconocer que existen límites en las competencias del MOP en la implementación de SbN, especialmente en áreas que requieren la colaboración interinstitucional. En

muchos casos, las soluciones basadas en la naturaleza abarcan múltiples sectores y requieren la coordinación entre diferentes organismos gubernamentales, incluyendo otros ministerios y los municipios.

En este sentido, el MOP debe trabajar en estrecha colaboración con otras instituciones para identificar áreas de intersección y complementariedad en sus competencias, promoviendo enfoques integrados y coordinados para la implementación de soluciones basadas en la naturaleza en proyectos de infraestructura. Esto garantizará una gestión eficiente y efectiva de los recursos naturales y una contribución significativa al desarrollo sostenible y la resiliencia de las comunidades.

4.3.2. Modelos de Gobernanza para la implementación de las SbN

La gobernanza integra una serie de conceptos que contribuyen a la construcción de un mecanismo de gestión para promover el desarrollo sostenible y la adaptación al cambio climático. Para el caso del Ministerio de Obras Públicas (MOP) y la aplicación de Soluciones Basada en la Naturaleza (SbN) se analiza desde la perspectiva de interacciones y relaciones entre diferentes entidades para el desarrollo de proyectos multidisciplinarios y multisectoriales que requieren de una claridad en los roles de cada actor para generar una gobernanza eficaz para la implementación de diferentes lineamientos y estrategias que guíen el accionar hacia la incorporación de las SbN en las diferentes direcciones del Ministerio. Por otro lado, es importante implementar el diagrama de secuencia de acciones que aporta al entendimiento de los actores para la ejecución de los proyectos. Ayudando a guiar la gestión de la aplicabilidad de las SbN en casos reales de proyectos del MOP.

En primer lugar, se plantean algunas aproximaciones de la definición de gobernanza para el desarrollo del análisis.

La Gobernanza se puede definir como “la elección de actores y sus respectivos roles en el proceso de ejecución de una política para llevarla a cabo de manera colectiva con un objetivo común” (Kooiman, 2003). Principalmente se asocia a la gestión que se debe llevar a cabo para que ciertos objetivos ocurran tras una secuencia de relaciones virtuosas entre los actores involucrados mediante el intercambio de información, el aprendizaje, la ayuda mutua, el trabajo conjunto y la negociación de decisiones aceptables para el desarrollo de los proyectos.

En los tipos “racional” y “jerárquico” el gobierno tiene un rol más fuerte, decide sobre las problemáticas y está más enfocado en objetivos. Por otro lado, los mecanismos de “co-gobernanza” involucran a otros actores y el objetivo se centra en el proceso (Van Zeijl-Rozema et al., 2008). Son diferentes formas de abarcar la temática de gobernanza sin duda que las nuevas políticas y miradas apuntan hacia una gobernanza con la apertura al involucramiento de otros actores y de innovación en los procesos. En este sentido se propone una mirada avanzada hacia una gobernanza que integre posibles nuevas alianzas que permitan avanzar en la implementación de políticas públicas de manera más eficaz y multisectorial. Proponiendo fortalecer los mecanismos que posibiliten el trabajo entre las diferentes direcciones del MOP, pero también entre direcciones de otros ministerios, privados y actores de sociedad civil que puedan contribuir al desarrollo de proyectos en torno a las SbN para infraestructuras y edificación pública en el territorio, con el fin de aportar a procesos integrales y colaborativos al interior del MOP.

En conjunto a los mecanismos entre actores internos y externos del MOP, también es importante generar una gobernanza coherente que responda a políticas tanto sectoriales como nacionales que aportan en el camino de desarrollo hacia propuestas de SBN generando procesos que sean acordes a las políticas que se están implementando en diferentes ámbitos. Al mismo tiempo la determinación de herramientas de evaluación de los proyectos a través de indicadores de beneficios que aportan las SbN permiten un mayor grado de claridad y de compromiso con su desarrollo, involucrando en datos concretos posibles actores de diferentes ministerios y respondiendo a las ya mencionadas políticas del gobierno.

A continuación, se muestra un diagrama de lo señalado en donde se muestra un círculo interno del proceso de incorporación de SbN en proyectos del MOP y un círculo externo que contiene dicho proceso que responde a mecanismos de gobernanza en torno a políticas sectoriales y nacionales, herramientas de medición y evaluación y determinación de actores necesarios para su desarrollo.

Figura 10. Diagrama Conceptual de Gobernanza



Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar, para el desarrollo integral de las SbN es necesaria la vinculación entre actor, tanto a nivel interno como externo. Algunos ejemplos de la necesidad de vinculación al interior del MOP incluyen la coordinación necesaria entre la Dirección de Vialidad y la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH) en materia de obras de drenaje donde ambos tienen competencias, así como el

acuerdo entre la DOH y la DGA para la ejecución de obras en cauces y riberas. La DIRPLAN y la Fiscalía tienen también un rol transversal en la integración de SbN en los servicios del MOP.

Algunas de las alianzas externas incluyen la vinculación con el MINVU en materia de edificación y gestión de aguas lluvias, el MMA y SENAPRED en relación con la integración del enfoque de riesgo ante el cambio climático y los desastres naturales. Es destacable la relación entre el MOP y sus mandantes, así como con el MDSyF en términos de los criterios comunes que debieran existir para que la integración de SbN sea posible. También es relevante la vinculación con las municipalidades en torno a la conservación de obras determinadas, especialmente en áreas urbanas, así como con la propia sociedad civil. Finalmente, la academia también es un aliado importante para aportar conocimiento, investigación y estudios de caso.

Para llevar a cabo estas posibles alianzas o trabajo colaborativo entre diferentes actores se propone un mecanismo secuencial del proceso que apoya a la toma de decisiones y a su vez plantea el paso a paso para la inclusión de una gobernanza acorde a lo señalado en el presente capítulo. En el diagrama a continuación se plantea en detalle.

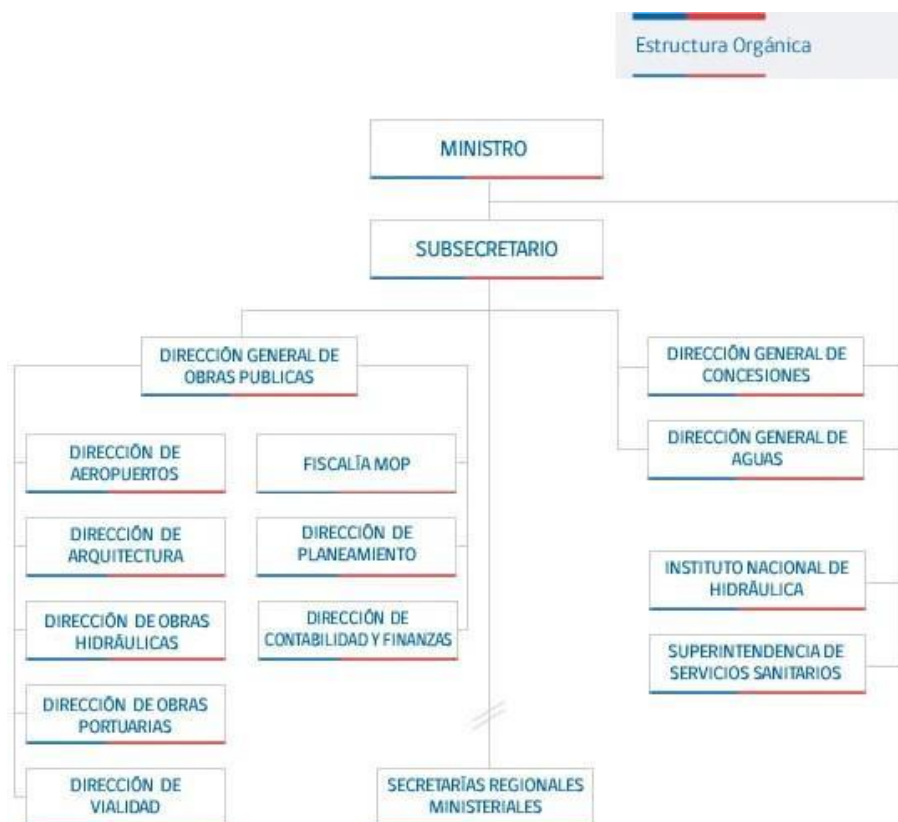
Figura 11. Diagrama Secuencial para la implementación de SbN



Fuente: Elaboración propia

En línea con lo mencionado, es necesario entender con mayor profundidad la organización interna del ministerio y realizar un análisis detallado de las competencias de sus direcciones para determinar la viabilidad de implementar tipologías con soluciones basadas en la naturaleza (SbN) en cada una de ellas.

Figura 12. Estructura Orgánica del Ministerio de Obras Públicas de Chile



Fuente. Tomado de MOP, 2024

El análisis presentado a continuación se basa en la revisión de las competencias de las diferentes direcciones del MOP, así como una búsqueda previa de las SbN que permiten responder a distintas amenazas del Cambio Climático que afectan o podrían afectar los servicios que ofrece el MOP.

Considerando lo anterior, es importante mencionar que como resultado del análisis se identificó que las direcciones no cuentan con funciones específicas para el desarrollo de soluciones basadas en la naturaleza en sus obras, siendo una excepción la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH), a la cual se le atribuye de manera explícita la aplicación de SbN con fines de asegurar la disponibilidad de agua. Esto representa, en primera instancia, una limitación para el desarrollo de proyectos con SbN, ya que las direcciones deben actuar en el marco de sus competencias. Sin embargo, también ofrece la oportunidad de alinear las acciones actuales con los enfoques o criterios de las SbN dentro de sus funciones.

Además, a partir de las entrevistas y talleres desarrollados, se constató que muchas de las normas a las que están sujetas las direcciones se encuentran desactualizadas, por lo que no son totalmente representativas a las acciones que actualmente llevan a cabo.

A continuación, se presenta una interpretación de la normativa vigente con el objetivo de realizar un análisis inicial y detectar oportunidades para implementar tipologías de SbN en los proyectos correspondientes a cada dirección. Para este análisis, se empleó el 'Portal de Transparencia' para generar una búsqueda de la información normativa disponible por cada dirección, y en base a esta

poder identificar las 'potestades, competencias, facultades, atribuciones y tareas' de cada una, con énfasis en las vinculadas a SbN o que permitan su implementación.

Dirección de Vialidad (DV)

En el Artículo N° 18 del DFL MOP N° 850, de 1997 se indica lo siguiente:

“A la Dirección de Vialidad corresponderá la realización del estudio, proyección, construcción, mejoramiento, defensa, reparación, conservación y señalización de los caminos, puentes rurales y sus obras complementarias que se ejecuten con fondos fiscales o con aporte del Estado y que no correspondan a otros Servicios de la Dirección General de Obras Públicas. (...) la Dirección podrá considerar, en coordinación con las demás entidades que corresponda, la plantación, forestación y conservación de especies arbóreas, preferentemente nativas, de manera que no perjudiquen y más bien complementen la conservación, visibilidad y la seguridad vial. Sin perjuicio de las facultades de la Dirección, ésta se coordinará con las municipalidades respectivas y los propietarios colindantes, para los efectos del cuidado y mantención de la faja y su vegetación. No obstante, lo establecido en este artículo esta Dirección tendrá a su cargo la construcción de puentes urbanos, cuando se lo encomienden las respectivas Municipalidades o Gobiernos Regionales, conviniendo con éstas el financiamiento correspondiente. Le corresponderá también la aprobación y fiscalización del estudio, proyección y construcción de puentes y badenes urbanos en los cauces naturales de corrientes de uso público. Además, tendrá a su cargo la construcción de caminos dentro de los radios urbanos cuando se trate de calles o avenidas que unan caminos públicos declarados como tales por decreto supremo.”

Si bien la Dirección está facultada para desarrollar infraestructura vial como caminos y puentes principalmente en zonas rurales – y en zonas urbanas bajo determinadas circunstancias - así como sus obras complementarias, la normativa no especifica directamente las SbN. Sin embargo, esta tampoco impone restricciones que limiten la incorporación de prácticas innovadoras en los proyectos.

Esto refleja que existe una flexibilidad significativa para adoptar cualquier medida que aborde de manera efectiva los desafíos específicos dentro del ámbito de competencia de la Dirección de Vialidad, como puede ser la construcción de corredores y cinturones verdes para mitigar los efectos de islas de calor, inundaciones y/o erosión del suelo. Esta interpretación bajo un enfoque abierto permite la aplicación de soluciones innovadoras - incluidas las SbN - siempre y cuando estas soluciones contribuyan de manera efectiva a los objetivos de los proyectos y se alineen con los requisitos de infraestructura y seguridad vial.

Dirección de Obras Portuarias (DOP)

En el Artículo N° 19 del Decreto con fuerza de Ley 850, se indica lo siguiente:

“Corresponderán a la Dirección de Obras Portuarias la supervigilancia, fiscalización y aprobación de los estudios, proyectos, construcciones, mejoramientos y ampliaciones de toda obra portuaria, marítima, fluvial o lacustre, y del dragado de los puertos y de las vías de navegación que se efectúen por los órganos de la Administración del Estado, por entidades en que éste tenga participación o por particulares. Sin perjuicio de lo dispuesto en el inciso anterior, la Dirección de Obras Portuarias podrá efectuar el estudio, proyección, construcción y ampliación de obras fundamentales y complementarias de los puertos, muelles y malecones, obras fluviales y lacustres, construidas o que se construyan por el Estado o con su aporte. Asimismo, podrá efectuar las reparaciones y la conservación de obras portuarias y el dragado de los puertos y de las vías de navegación. ...”

Dado que la dirección cuenta con la capacidad de aprobar obras complementarias a las portuarias, esto podría facultarle a aplicar un enfoque SbN para la gestión de amenazas climáticas en este tipo de obras. Esto implica que los proyectos puedan incluir medidas como la construcción de rompeolas naturales, la estabilización de costas con vegetación, así como otras que contribuyan con la restauración de ecosistemas marino-costeros (humedales costeros, praderas marinas, estuarios, dunas costeras, etc.).

Dirección de Aeropuertos (DAP)

En el Artículo N°20 del Decreto con Fuerza de Ley 241 se indica:

“A la Dirección de Aeropuertos corresponderá: A proposición de la Junta de Aeronáutica Civil, la realización del estudio, proyección, construcción, reparación y mejoramiento de los aeropuertos, comprendiéndose pistas, caminos de acceso, edificios, instalaciones eléctricas y sanitarias y, en general, todas sus obras complementarias.”

Alineadas con sus competencias, las medidas de SbN con potencial a implementar se centran principalmente en la edificación y en las obras complementarias viales. Estas medidas pueden incluir el uso de principios de diseño bioclimático y biofílico - que incorpora especies vegetales en los espacios interiores - fachadas y cubiertas verdes, humedales artificiales para el tratamiento natural de aguas residuales, la construcción de corredores y cinturones verdes con especies nativas para generar barreras naturales alrededor de las infraestructuras que reduzcan la velocidad del viento, el uso de cobertura vegetal para la protección de caminos de acceso, entre otros.

Dirección de Arquitectura (DA)

En el Artículo N° 16 DFL N° 850 se indica:

“A la Dirección de Arquitectura corresponderá la realización del estudio, construcción, reparación y conservación de los edificios públicos que se construyen con fondos fiscales, sin perjuicio de los que deban ser ejecutados exclusivamente por otros Servicios de acuerdo a sus leyes orgánicas; el estudio, proyección, reparación y construcción de edificios de instituciones fiscales, semifiscales y de administración autónoma que se le encomiende especialmente. ...”

Al igual que la Dirección de Aeropuertos, la DA tiene injerencia en el desarrollo de edificios, particularmente en los edificios públicos. Al no mencionar mayor detalle, la Dirección no está limitada a integrar en el diseño principios de diseño bioclimático y biofílico, así como otras medidas de SbN, las cuales ya están incluidas, en mayor o menor medida, en los estándares de calidad de los TDR y CES. Entre las medidas destacan la implementación de techos y paredes verdes, la plantación de árboles para mejorar la calidad del aire, sistemas de recolección de agua de lluvia y tratamiento de aguas grises para riego de espacios verdes, estrategias de enfriamiento pasivo y energías renovables para mejorar el confort térmico de los ocupantes sin aumentar la carga energética, entre otros.

Dirección de Planeamiento (DIRPLAN)

En el Artículo 15° DFL MOP 850 de 1997 se indica:

“a) Coordinar y proponer para la resolución del Ministro, la planificación, coordinación general y prioridad del plan general de estudios, proyectos y ejecución de las obras, de acuerdo con las necesidades del país, los

programas gubernativos y los planes de los distintos servicios y empresas, cuyos objetivos deben conformarse con los Planes Nacionales de Desarrollo, los Planes Regionales y los Planes Reguladores e Intercomunales. Asimismo, le corresponderá estudiar la planificación y coordinación de las obras públicas no previstas en esta ley, que le encomiende el Ejecutivo; ... c) Estudiar y proponer a la Dirección General las normas comunes aplicables en la ejecución de las obras, previo informe de los servicios respectivos. ...”

Al tener injerencia en el plan general de estudios, proyectos y ejecución de las obras, la dirección cuenta con la potestad de integrar criterios de SbN en los planes, así como, agregar una suerte de “marcas” en el Sistema Exploratorio de las SbN para el seguimiento de obras con estas tipologías. Finalmente, cabe recalcar que la norma faculta al MOP a través de la DIRPLAN para planificar y coordinar **obras públicas no previstas en la ley**, lo que podría significar una oportunidad para la implementación y/o integración de SbN en diversos proyectos públicos.

Dirección General de Concesiones (DGC)

Como se indica en el Artículo 22 ter. del DFL 850 de 1997, que fijó el texto refundido, coordinado y sistematizado de la Ley N°15.840 de 1964, Orgánica del Ministerio de Obras Públicas y del D.F.L. N°206 de 1960, Ley de Caminos, y sus modificaciones.

“... d) Contratar estudios, proyectos, ejecución de obras y asesorías en la forma que determine la ley. Asimismo, podrá celebrar los actos y contratos que sean necesarios para el cumplimiento de las funciones que le corresponden a la Dirección General de Concesiones de Obras Públicas. ... i) Estudiar, analizar y proponer al Ministro de Obras Públicas proyectos que puedan ser promovidos y ejecutados por el ministerio mediante el sistema de concesiones regulado por el artículo 87, sean éstos de iniciativa propia, de otros ministerios u organismos de la administración pública o de iniciativas privadas presentadas ante el Ministerio de Obras Públicas, de conformidad a la ley. ...”

Por tanto, aunque la Dirección posee la capacidad de contratar estudios y proponer proyectos, estas funciones no incluyen explícitamente temáticas sobre SbN. Su actuación debe alinearse con las iniciativas que le son encargadas desde el nivel central y seguir los mecanismos establecidos en el reglamento de concesiones. Una medida para integrar las SbN en los proyectos de concesión puede ser el ajuste de las directrices centrales o la modificación de las bases de licitación o términos de referencia para incorporar estas temáticas de manera explícita en los criterios de evaluación y desarrollo de proyectos. Esto señala la necesidad de una mayor coordinación y clarificación a nivel central para explorar y potencialmente expandir el alcance de las iniciativas de la Dirección en términos de sostenibilidad y resiliencia ambiental.

Dirección de Obras Hidráulicas (DOH)

Como se indica en la Resolución DGOP 194¹¹:

¹¹ Derogada parcialmente por la Resolución DGOP 333 delegando todas las mismas funciones a las direcciones regionales

“Delégase en el director de Obras Hidráulicas las siguientes funciones y obligaciones: a) El estudio, proyección, construcción, y conservación de las obras de defensas de terrenos y poblaciones contra crecidas de corrientes de agua y regularización de las riberas y cauces de los ríos, lagunas y esteros, de acuerdo a los artículos 91 al 101 inclusive del DFL MOP 850/97. ... e) Ordenar, previo los estudios pertinentes y conocimiento de los interesados, la modificación o destrucción total o parcial de las obras de defensa o cualquiera otra existente en las riberas o cauces de las corrientes naturales, si pusieren en peligro inminente poblaciones, otros predios u obras importantes o dificulten la regularización del curso de las aguas, todo ello sin perjuicio de las facultades que le competen a la Dirección General de Aguas.”

Asimismo, dentro de la normativa (DFL MOP 850/97) se señala que:

Cuando las obras comprenden trabajos que incluyan la reforestación de las hoyas, la Dirección General de Obras Públicas encomendará al Departamento de Bosques del Ministerio de Bienes Nacionales el estudio y ejecución de ellas, para lo cual pondrá a su disposición los fondos del caso ... (Art. 92)

De lo anterior se desprende que la Dirección está facultada a encomendar medidas de reforestación, a la Corporación Nacional Forestal (CONAF), esta última en conformidad a las potestades atribuidas en virtud del artículo 4° de la Ley N° 18.348, debido a que el Departamento de Bosques no se encuentra vigente. Además, en línea con sus funciones la Dirección podría considerar la inclusión de medidas como: la estabilización con vegetación, la creación de zonas de amortiguamiento verde, la implementación de técnicas de bioingeniería, la restauración de humedales cercanos a los ríos. Por otra parte, la norma señala que la DOH tiene la potestad para regularizar cauces de los ríos, lagunas y esteros, por lo que podría considerar la aplicación de SbN como la creación de meandros y cauces naturales, y la restauración de ríos urbanos en corrientes vivas, entre otras.

En el artículo N° 17 del DFL N° 850 se menciona:

A la Dirección de Obras Hidráulicas corresponderá: a) El estudio, proyección, construcción, reparación y explotación de obras de riego que se realicen con fondos fiscales, ... b) Las obras de saneamiento y recuperación de terrenos que se ejecuten con fondos fiscales; c) El estudio, proyección, construcción y reparación del abovedamiento de los canales de regadío que corren por los sectores urbanos de las poblaciones, siempre que dichos canales hayan estado en uso con anterioridad a la fecha en que la Zona por donde atraviesan haya sido declarada como comprendida dentro del radio urbano y que dichas obras se construyan con fondos fiscales o aportes de las respectivas Municipalidades. ... e) El estudio, diseño, construcción, ejecución, reparación, modificación, ampliación, conservación y operación de obras, instalaciones y plantas de desalinización de aguas y embalses; otro tipo de infraestructura hídrica que tenga por finalidad la ampliación y sustentabilidad de la disponibilidad de agua; y proyectos de gestión hídrica que incorporen soluciones basadas en la naturaleza, cuyo propósito sea la producción u obtención de recursos hídricos que se destinen en forma prioritaria para el cumplimiento de la función de subsistencia, que incluye el uso para el consumo humano, el saneamiento y el riego. Lo anterior, teniendo en consideración la función de preservación ecosistémica de las aguas ...

El artículo anteriormente citado faculta de manera explícita a la DOH para desarrollar obras cuyo propósito de gestión hídrica incorpore las SbN que permitan la producción y obtención de recursos hídricos, el cual se puede lograr mediante técnicas de gestión de aguas pluviales, como lagunas de retención, sistemas de tratamiento natural (como humedales), zanjas de infiltración y sistemas de filtración vegetativa los cuales pueden integrarse en los Planes Maestros de aguas de lluvia y complementar otros proyectos como obras de riego, etc. Asimismo, la norma indica las competencias

asociadas a las obras sobre los canales de regadío en sectores urbanos por lo que la DOH podría estar facultada para la aplicación de SbN en ese aspecto también.

Por otro lado, en el artículo N° 1 de la Ley 19.525, se indica que la dirección está facultada a contratar la realización de las obras para la planificación, estudio, proyección, construcción, reparación, mantención y mejoramiento de la red primaria de sistemas de evacuación y drenaje de aguas de lluvias.

La Dirección es responsable de la elaboración de Planes de Manejo de Aguas de Lluvia a través de su trabajo en la provisión de infraestructura hidráulica necesaria para el óptimo aprovechamiento del agua y la protección del territorio y las personas. Esto incluye la provisión de infraestructura para la evacuación y el drenaje de aguas lluvias en áreas urbanas con el objetivo de disminuir los daños provocados por estas.

Por tanto, esto faculta a la dirección de integrar el enfoque de SbN en la gestión del agua de lluvia contemplada en dichos planes. Estas medidas pueden incluir la implementación de techos verdes, pavimento permeable, zanjas de infiltración, diseño de sistemas de drenaje naturales y relleno urbano ecológico en zonas residuales de la ciudad. Las mismas medidas pueden ser consideradas en la contratación de infraestructura relacionada con la red primaria de sistemas de evacuación y drenaje de aguas de lluvia.

Como se indica en el artículo N° 72 de la Ley 20.998:

Créase, en la Dirección de Obras Hidráulicas del Ministerio de Obras Públicas, la Subdirección de Servicios Sanitarios Rurales... A esta Subdirección le corresponderá efectuar estudios, gestión comunitaria, inversiones de agua potable, inversiones de saneamiento, proyectos de agua potable, proyectos de saneamiento y llevar el registro de los operadores. ...

Asimismo, en el artículo N° 73 de la Ley 20.998 se señala:

Serán funciones de la Subdirección de Servicios Sanitarios Rurales: d) Asesorar a los operadores, directamente o a través de terceros, conforme al registro que será determinado en el reglamento. e) Formular proyectos de servicios sanitarios rurales y evaluarlos económica, técnica y socialmente, directamente o a través de terceros debidamente inscritos en el registro señalado en la letra d). f) Contratar la inversión sectorial y actuar como unidad técnica para la contratación de la inversión de los gobiernos regionales u otras instituciones públicas en materias relacionadas con servicios sanitarios rurales. ... i) Aprobar, directamente o a través de terceros, la puesta en operación de las obras de cada operador, sin perjuicio de las atribuciones de la autoridad sanitaria. ... k) Visar técnicamente los proyectos respecto de las etapas del servicio sanitario rural, sus ampliaciones y modificaciones, sin perjuicio de las atribuciones de la autoridad sanitaria, pudiendo para tal efecto contar con la asesoría de terceros debidamente inscritos en el registro señalado en la letra d). ...

En síntesis, a través de una subdirección especializada, la DOH desempeña funciones de asesoramiento técnico en obras que proporcionan servicios sanitarios rurales, tales como proyectos de agua potable y saneamiento. Para estos casos, la dirección puede implementar medidas con SbN, como sistemas de tratamiento natural adaptadas a las zonas rurales, como humedales y áreas de amortiguamiento vegetativo.

4.4. Caracterización de las SbN aplicables a los servicios de infraestructura

Si bien en las secciones anteriores se proporcionaron algunos ejemplos de Soluciones Basadas en Naturaleza que el MOP podría implementar en el marco de sus facultades, el presente capítulo complementa la identificación de las SbN potencialmente aplicables a los servicios de infraestructura del MOP a través de un análisis a priori basado en bibliografía y la caracterización de estas. Al ser un análisis a priori, la aplicabilidad de las iniciativas SbN presentadas a continuación debe estar sujeta a una evaluación específica con mayor detalle técnico y normativo. De igual manera, se descartaron aquellas iniciativas que por geografía no son replicables, como la restauración de arrecifes de coral y manglares, así como iniciativas donde exista un traslape entre instituciones.

Esta actividad tuvo como base el análisis de vulnerabilidad ante el Cambio Climático desarrollado en la primera parte del documento (Sección 3), así como el análisis de la gobernanza del MOP desarrollado en la sección (Sección **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

El propósito de este análisis es generar un banco de alternativas que sirva como una herramienta para que las distintas direcciones puedan explorar y considerar la aplicación de SbN como respuesta a amenazas del cambio climático específicas que generan o podrían generar problemas para la oferta de los servicios de infraestructura. Esta herramienta se encuentra estructurada para relacionar: los i) principales servicios de infraestructura y ii) las direcciones competentes en cada caso con las iii) amenazas ante el Cambio Climático por iv) macrozona, los problemas que estas ocasionan o podrían ocasionar, las soluciones tradicionales mediante las cuales se enfrentan estos problemas y las SbN aplicables como alternativas a estas.

Asimismo, para la construcción del Banco de Alternativas de Soluciones Basadas en la Naturaleza aplicables a los servicios del MOP se realizaron entrevistas con las Direcciones del MOP, a quienes se solicitó retroalimentación respecto de algunas de las tipologías de soluciones identificadas.

La información y relaciones utilizadas para la construcción del banco se detallan a continuación.

4.4.1. Vulnerabilidad ante el Cambio Climático e impactos asociados a los servicios del MOP

Para identificar las SbN aplicables a los servicios de infraestructura que brinda el MOP, es necesario identificar los impactos generados por el Cambio Climático a los cuales estas soluciones debieran dar respuesta. Para ello, se partió del trabajo desarrollado en la primera parte del documento, donde se identificaron los factores climáticos que amenazan los servicios de infraestructura (Sección 3.2). En ese sentido, la **Tabla 17** sintetiza las amenazas¹² a los que están expuestos los diferentes servicios de infraestructura.

¹²Por conveniencia, se utilizará el término "Amenazas" para referirse tanto a las amenazas climáticas como a los impactos intermedios.

Tabla 17. Amenazas y las infraestructuras con potencial a ser impactadas

Amenazas	Conectividad				Protección del Territorio						Edificación PyS
	Caminos/ carreteras	Puentes	Puertos	Aeropuertos	Embalses	Canales de regadío	Control aluvial y defensas fluviales	Agua potable rural	Infraestructura de aguas de lluvia	Bordes costeros	
Acidificación del mar										X	
Incremento del nivel del mar			X				X	X	X	X	X
Marejadas	X		X				X	X	X	X	
Sequías	X	X			X	X	X	X			
Inundaciones	X	X	X	X						X	X
Precipitación intensa			X		X	X	X	X	X		X
Vaciamiento de lagos glaciares					X			X			
Erosión costera			X							X	
Erosión del suelo	X	X		X			X		X		X
Remociones de masa	X	X			X	X	X	X		X	X
Altas temperaturas	X	X		X							X
Olas de calor											
Heladas	X	X		X							X
Tormentas de nieve	X										
Trombas marinas										X	
Vientos fuertes			X	X							X
Incendios forestales								X			X

4.4.2. Soluciones Tradicionales y Soluciones Basadas en la Naturaleza

Esta sección busca identificar cómo se da respuesta a los problemas originados por las amenazas de manera tradicional y cómo se podría enfrentar esas situaciones empleando alternativas que incluyan SbN. Para la identificación de las soluciones tradicionales, así como de SbN se recurrió a la búsqueda bibliográfica de las obras que tradicionalmente ejecuta el MOP y de experiencias o aplicaciones de SbN que se aplican a nivel mundial para hacer frente a estas. En la **Tabla 18** se muestra un resumen de las infraestructuras tradicionales que son utilizadas para abordar los impactos de eventos climáticos, comúnmente ligadas a infraestructuras grises como diques, canales de hormigón y otras intervenciones mecánicas-estructurales. Asimismo, se presenta la contraparte basada en la naturaleza que pueden ser aplicadas para contrarrestar las amenazas identificadas.

Tabla 18. Soluciones tradicionales frente a las amenazas

Amenaza	Infraestructura Tradicional	Soluciones Basadas en la Naturaleza
Acidificación del mar	<ul style="list-style-type: none"> Mejoramiento de bordes costeros Infraestructura de protección Reforzamiento de infraestructuras 	<ul style="list-style-type: none"> Zonas de amortiguamiento
Incremento del nivel del mar	<ul style="list-style-type: none"> Infraestructura de protección: muros, diques, barreras temporales, etc. Mejoramiento de bordes costeros: sistemas mejorados de drenaje 	<ul style="list-style-type: none"> Zonas de amortiguamiento costero Ecosistemas marino-costeros: dunas de arenas, praderas marinas
Marejadas	<ul style="list-style-type: none"> Infraestructura de protección: muros, diques, barreras temporales, etc. Mejoramiento de bordes costeros Construcción de rompeolas de hormigón 	<ul style="list-style-type: none"> Zonas de amortiguamiento costero Ecosistemas marino-costeros: dunas de arenas, praderas marinas
Sequías	<ul style="list-style-type: none"> Zonas de captación de concreto y/o hormigón Acueductos Plantas desalinizadoras (en zonas costeras) 	<ul style="list-style-type: none"> Restauración de cuencas: revegetación, restauración hidromorfológica, eliminación de barreras de hormigón, etc Reforestación o forestación Áreas verdes permeables para abastecimiento de aguas subterráneas
Inundaciones	<ul style="list-style-type: none"> Diques, muros artificiales permanentes y barreras temporales anti-inundación Sistemas Mejorados de Drenaje Ductos de drenaje y estanque para almacenar agua de lluvia Defensas fluviales: gaviones, enrocados y muros 	<ul style="list-style-type: none"> Restauración de ecosistemas marino-costeros: pastos marinos, dunas de arena, marismas, etc. Construcción de sistemas urbanos de drenaje sostenible: Jardines de lluvia, cunetas verdes, pavimentos permeables, etc Restauración de ecosistemas fluviales: meandros, turberas, llanuras de inundación, etc.

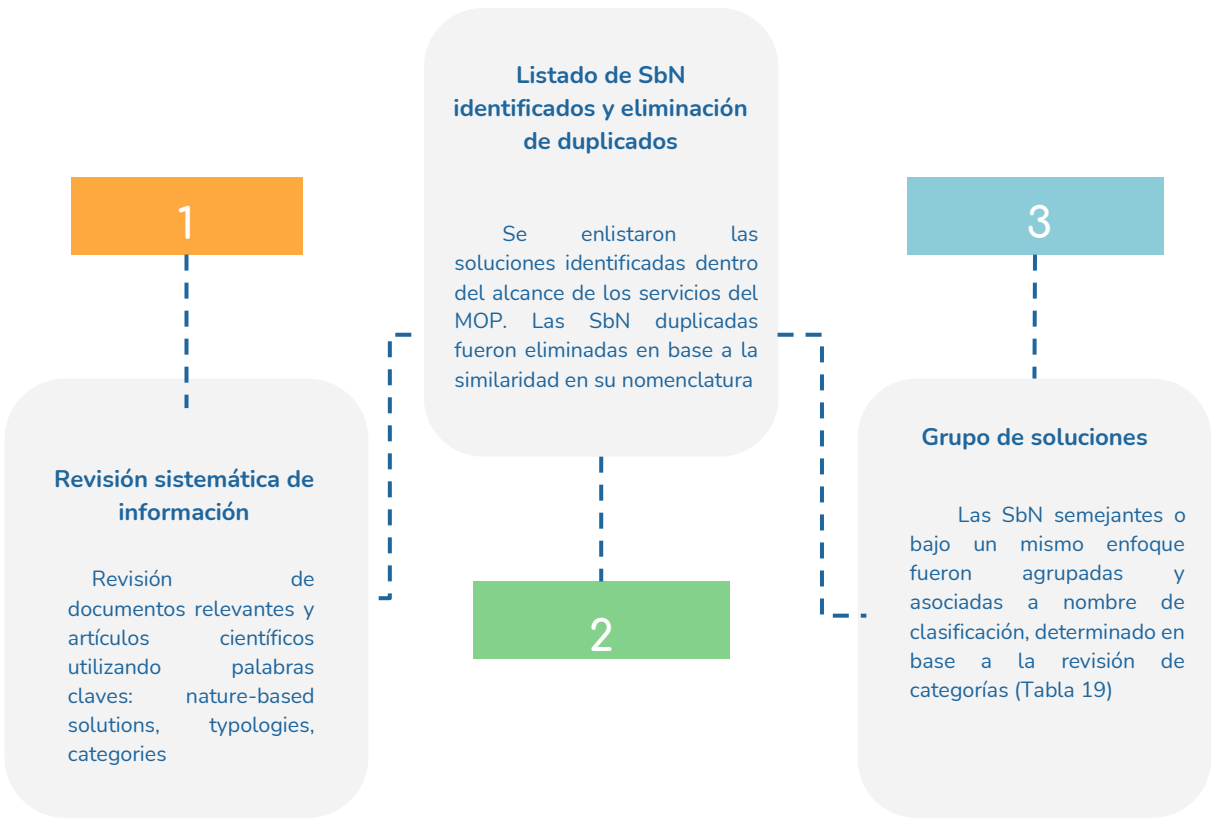
Lluvias intensas	<ul style="list-style-type: none"> • Sistemas mejorados de drenaje urbano para gestión de agua como colectores de lluvia • Soluciones de ingeniería para refuerzo de infraestructuras y protección contra inundaciones (muros de contención y diques) • Ductos de drenaje y estanque para almacenar agua de lluvia • Piscinas antialuvionales 	<ul style="list-style-type: none"> • Azoteas verdes • Jardines urbanos y espacios verdes • Creación, mantenimiento y restauración de la vegetación ribereña y de humedales • Plazas o parques inundables.
Erosión del suelo	<ul style="list-style-type: none"> • Muros de contención • Formación de Terrazas • Dragados • Presas de control de sedimentos • Estanques de decantación 	<ul style="list-style-type: none"> • Manejo y restauración de vegetación ladera arriba • Reforestación y forestación • Manejo de la vegetación litoral y de los humedales
Remociones de masa	<ul style="list-style-type: none"> • Obras de control aluvional • Uso de gaviones como barrera artificial para contener deslizamientos de tierra ocasionados por inundaciones • Estabilización mecánica de taludes • Muros TEM • Tierra armada • Micropilotes • Mallas de contención (geogrub y similares) • Hidrosiembra 	<ul style="list-style-type: none"> • Manejo de vegetación ladera arriba • Reforestación y forestación • Restauración y conservación de zonas de amortiguamiento • Alcorques estructurales
Altas temperaturas / olas de calor	<ul style="list-style-type: none"> • Reducir en espacio público uso de pavimentos que absorban y retengan el calor • Centro de enfriamiento y aire acondicionado • Espacios con rociadores de agua • Brumizadores para refrescar zonas con temperaturas altas • Climatización en edificaciones • Veredas con pavimentación fría • Reforzamiento con materiales termoresistentes 	<ul style="list-style-type: none"> • Azoteas verdes • Jardines urbanos y áreas verdes • Arbolado en calles

Fuente: Tomado de MMA(2023) y BID (2020)

4.4.3. Banco de alternativas SbN aplicables a los servicios del MOP13

Como se analiza en las primeras secciones del presente capítulo, las iniciativas de SbN que se han venido desarrollando en el mundo son diversas y cubren diferentes experiencias como la protección de ecosistemas, la restauración de las funciones naturales de los ecosistemas, la creación de hábitats, la mejora de la conectividad entre ecosistemas, el control de incendios, la atenuación de riesgos, entre otras. Dada la diversidad de SbN, resulta importante organizar los principales tipos de SbN que existen de acuerdo con una categorización adecuada para el alcance de los servicios del MOP, que nos permita encontrar características comunes de las intervenciones y llevar a cabo una mejor sistematización de las experiencias, monitoreo y futuras réplicas. La **Figura 13** muestra la metodología seguida para identificar y clasificar las iniciativas SbN existentes a nivel nacional e internacional.

Figura 13. Metodología para determinar tipologías de SbN para los servicios de infraestructura del MOP



Fuente: Elaboración propia

A la fecha se han llevado a cabo varias propuestas de clasificación de SbN, siendo categorizadas bajo diferentes enfoques y criterios. En la **Tabla 19** se presentan algunas de las clasificaciones con mayor

¹³ [Link de la Matriz del Banco de Soluciones](#)

relevancia para el presente estudio de aplicabilidad de las SbN en los servicios de obras públicas del MOP (UNEP, 2014; World Bank, 2021; UNDRR, 2023 y Van Zanten et al., 2023).

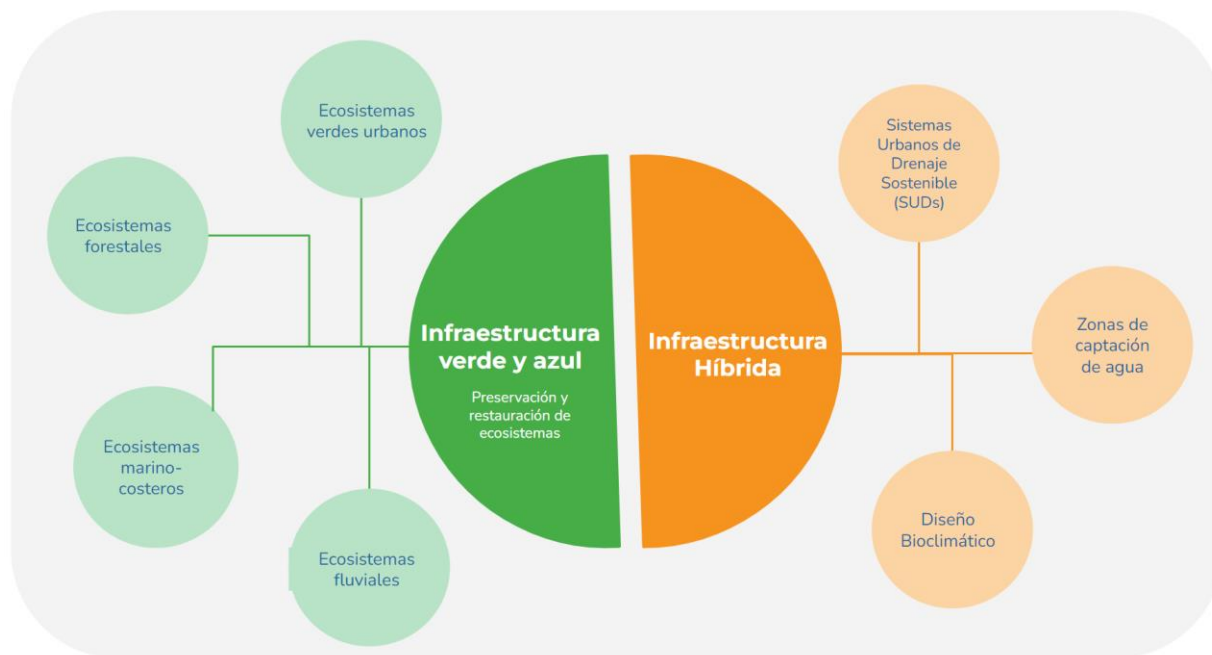
Tabla 19. Métodos de clasificación de las SbN y sus categorías

Documento	Fuente	Clasificación / Enfoque	Categorías
Guidelines for Integrating Ecosystem-based Adaptation into National Adaptation Plans	UNEP, 2021	Enfoque basado en ecosistemas para la adaptación de ciudades	<ul style="list-style-type: none"> • Reforestación urbana • Creación de espacios verdes • Gestión del riesgo de inundaciones • Captación de agua de lluvia • Pavimentos permeables • Purificación del agua • Conexión natural de caminos • Diseño Urbano • Corredores de ventilación verde • Servicios de Utilidad Urbana
Soluciones Basadas en la naturaleza para la reducción del riesgo de desastres: de las palabras a la acción	UNDRR, 2021	Enfoque basado en ecosistemas para la reducción del riesgo de desastres y adaptación al cambio climático	<ul style="list-style-type: none"> • Recuperación del paisaje • Recuperación de humedales • Agricultura climáticamente inteligente • Creación de áreas verdes • Infraestructura verde • Infraestructura azul • Infraestructura híbrida
Assessing the Benefits and Costs of Nature-Based Solutions for Climate Resilience: A Guideline for Project Developers	World Bank, 2023	Enfoque basado en ecosistemas para la reducción del riesgo de desastres y adaptación al cambio climático	<ul style="list-style-type: none"> • Bosques urbanos y de montaña • Terrazas y pendientes • Ríos y llanuras aluviales • Espacios verdes urbanos • Lagunas, lagos y cuerpos de aguas pequeños • Humedales continentales • Bosques manglares • Otros humedales costeros • Ecosistemas de arrecifes • Vegetación acuática sumergida • Dunas de arena
A catalogue of nature-based solutions for urban resilience	World Bank, 2021	Enfoque basado en ecosistemas de aplicación urbana	<ul style="list-style-type: none"> • Bosques urbanos • Terrazas y pendientes • Revegetación de ríos y arroyos • Soluciones de construcción • Espacios verdes abiertos • Corredores verdes • Ganadería urbana • Áreas de bio retención • Humedales naturales • Humedales artificiales • Llanuras aluviales • Bosques de manglares • Dunas costeras • Marismas

Fuente: Elaboración propia

En base a los métodos de clasificación descritos y a la sistematización de las diferentes SbN, se optó por una categorización que permita distinguir entre dos aplicaciones principales de las SbN en infraestructura. En la **Figura 14** se puede observar la propuesta de los grupos y tipos de intervención que podrían complementar o integrarse a la infraestructura y edificación pública para de los servicios ofrecidos por el MOP. A continuación, se realiza una descripción de las SbN específicas que abarca cada grupo. En esta se incluye la identificación de los servicios ecosistémicos que pueden proveer las tipologías de SbN presentadas, tomando de referencia la clasificación propuesta en la sección 4.1.3.

Figura 14. Propuesta de clasificación de las SbN aplicables a los servicios del MOP



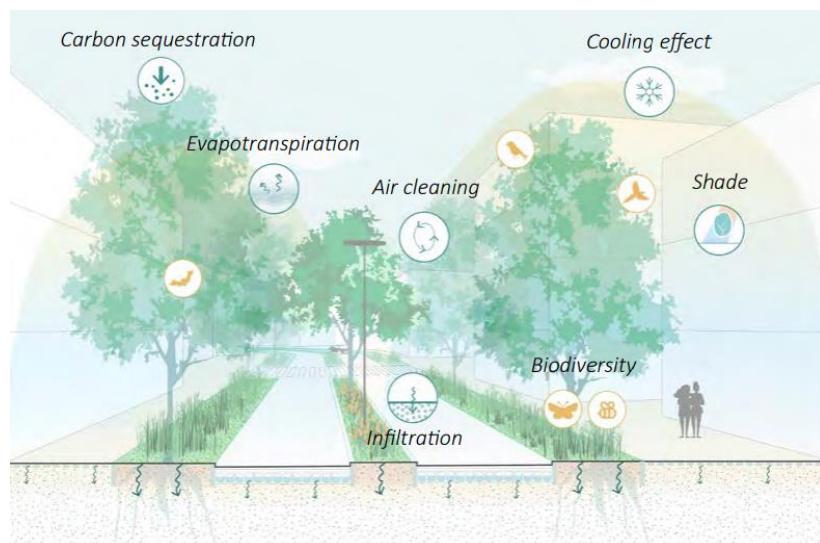
Fuente. Elaboración propia

Infraestructura Verde y Azul

Se denomina infraestructura verde a la red de zonas naturales y seminaturales y de otros elementos ambientales, planificada de forma estratégica, diseñada y gestionada para la prestación de una extensa gama de servicios ecosistémicos, como la purificación del agua, la calidad del aire, lugares de recreo y la mitigación y adaptación al clima y la gestión de los impactos del clima húmedo que proporciona muchos beneficios a la comunidad (UNDRR, 2023). La infraestructura azul suele estar integrada a la infraestructura verde, pero se hace la distinción para hablar específicamente de cuerpos de agua y sistemas hídricos diseñados o gestionados para garantizar la seguridad hídrica. En este grupo se incluyen las intervenciones correspondientes a la preservación y restauración de ecosistemas terrestres y acuáticos como ecosistemas verdes urbanos, ecosistemas costeros, ecosistemas forestales, ecosistemas marinos-costeros y ecosistemas fluviales-continenciales.

Ecosistemas Verdes Urbanos

Nombre de la SbN: Corredores y Cinturones Verdes



Amenazas que contrarresta:

- Lluvias intensas
- Inundaciones
- Erosión costera
- Erosión del suelo
- Remociones de masa
- Altas Temperaturas
- Olas de Calor
- Vientos Fuertes

Servicios Ecosistémicos:

- Regulación de la erosión.
- Regulación de la calidad del aire.
- Regulación del clima
- Moderación de los eventos extremos
- Servicios culturales y de recreación
- Valor estético

Otros beneficios

Continuidad ecosistémica

Descripción. Los corredores verdes urbanos, también conocidos como infraestructuras naturales lineales, son una parte esencial de la ecología del paisaje urbano. Estas franjas de árboles, plantas o vegetación pueden encontrarse a distintas escalas y suelen conectar los espacios verdes de una ciudad, creando una red de Infraestructura Verde Urbana (IVU). Los corredores verdes permiten la restauración de la continuidad ecológica entre varios espacios naturales, fomentando el movimiento de especies. Los cinturones verdes se refieren a aquellas áreas de vegetación planificadas y gestionadas que actúan como zonas de protección y separación entre áreas urbanas y áreas naturales o agrícolas circundantes. Las plantaciones de árboles urbanos, la creación de parques periurbanos, jardines comunales y/o huertos urbanos favorecen la biodiversidad y contribuyen al bienestar de los habitantes. Estas soluciones también contribuyen a la reducción de los riesgos de desastres debido a olas de calor e inundaciones.


Fuente: Urban NBS Catalogue (World Bank, 2021)

Fuente de la Imagen: Urban NBS (World Bank, 2021)


Ecosistemas Forestales

Nombre de la SbN: Forestación con plantas nativas

	<p>Amenazas que contrarresta:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Lluvias intensas ● Inundaciones ● Erosión costera ● Erosión del suelo ● Remociones de masa ● Altas Temperaturas ● Olas de Calor ● Vientos Fuertes <p>Servicios Ecosistémicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Regulación de la calidad de aire ● Regulación del clima ● Regulación de la erosión ● Purificación del agua y tratamiento de residuos ● Valor turístico, recreativo y paisajístico <p>Otros Beneficios</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Preservación de la biodiversidad ● Valor productivo de campos agrícolas cercanos
<p>Descripción. La reforestación se refiere a actividades de plantación de especies locales en superficies del suelo descubierto. Las actividades de reforestación y forestación, así como los bosques existentes, pueden contribuir a reducir la incidencia y la intensidad de las inundaciones. Las zonas forestales de las cuencas altas pueden ayudar a retener el agua y estabilizar las laderas, reduciendo así los riesgos y los desastres causados por precipitaciones intensas, ya que se vuelven capaces de reducir la velocidad y volumen de la escorrentía. Asimismo, contrarrestar la deforestación permite la prevención de la degradación de la tierra y de la erosión del suelo. Aunque es poco probable que el aumento de la cubierta forestal afecte significativamente a los resultados de las inundaciones fuertes en las grandes cuencas hidrográficas o a las inundaciones fuertes de baja frecuencia en los ríos más pequeños, puede tener un gran impacto en la reducción de las inundaciones leves a moderadas en las cuencas hidrográficas relativamente pequeñas y medianas.</p> <p>La experiencia del MOP en medidas de reforestación indican que cuando se efectúa la exclusión del terreno para prepararlo para la forestación, el hecho de alejar las intervenciones antrópicas o afectaciones que pudieran generar cabras o lagomorfos, ha implicado importantes procesos de regeneración natural. Por lo tanto, además de considerar la forestación o reforestación, se deben incluir como alternativa viable acciones paralelas que faciliten las condiciones para una regeneración natural.</p>	<p>Fuente: Tomado de UNEP (2014); Fundación Chile (2019); UICN, (2019)</p> <p>Fuente de la imagen: Wikimedia commons (Hunter, 2015)</p>
<p>Nombre de la SbN: <i>Conservación de rodales maduros</i></p>	

	<p>Amenazas que contrarresta:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Altas Temperaturas • Olas de Calor • Vientos Fuertes • Incendios forestales <p>Servicios Ecosistémicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Regulación de la erosión • Valor turístico y recreativo <p>Otros beneficios</p> <ul style="list-style-type: none"> • Preservación de la biodiversidad
<p>Descripción. Apoyar la dinámica de las especies autóctonas poco inflamables y de cobertura densa mediante la tala progresiva de las especies dominantes y/o competidoras, con el fin de proporcionar al suelo una sombra continua, desfavorable para el crecimiento del sotobosque combustible. La capacidad de limitar la propagación del fuego depende de la mezcla de especies elegida.</p>	<p>Fuente: UICN France (s.f)</p> <p>Fuente de la imagen: Bioma Forestal (s.f)</p>

Ecosistemas marino-osteros

Nombre de la SbN: Restauración y Gestión sostenible de dunas costeras	
	<p>Amenazas que contrarresta:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Incremento del nivel del mar • Marejadas • Lluvias intensas • Inundaciones • Erosión costera • Remociones de masa • Altas Temperaturas • Olas de Calor • Vientos Fuertes <p>Servicios ecosistémicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Regulación de la erosión • Valor turístico y recreativo <p>Otros beneficios:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Preservación de la biodiversidad
<p>Descripción. Las playas y las dunas contribuyen a la resiliencia costera y ayudan a regular el impacto de los peligros naturales a través de los intercambios de sedimentos dentro del sistema duna-playa.</p> <p>Estos ecosistemas contribuyen a reducir el riesgo de erosión costera al disipar la energía de las olas y el viento, actuando como barreras naturales. Algunas de las acciones de restauración son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Preservación de la vegetación de las dunas • Reservas de arena • Desartificialización y restauración mediante el desmantelamiento de infraestructuras costeras 	<p>Fuente: Manual de restauración para dunas costeras (Mendoza-González et al, 2022)</p> <p>Fuente de la imagen: Manual de restauración para dunas costeras (Mendoza-González et al, 2022)</p>

<p>Así, tras una tormenta, cuando la playa se erosiona, las reservas de arena de las dunas pueden reponer y reconstruir la playa.</p>	
<p>Nombre de la SbN: Restauración y/o preservación de Praderas Marinas</p>	
	<p>Amenazas que contrarresta:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Marejadas • Erosión costera • Acidificación del mar • Inundaciones • Vientos fuertes / Tormentas <p>Servicios ecosistémicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Regulación de la calidad de aire • Regulación del clima • Aprovechamiento de alimentos (pesca) • Valor turístico y recreativo <p>Servicios ecosistémicos:</p> <p>Preservación de la biodiversidad</p>
<p>Descripción. Las praderas marinas se componen de plantas superiores, con raíces, tallos y hojas, adaptadas a vivir en el medio marino, y con capacidad de producir flores verdaderas, frutos y semillas. Por ser evolutivamente más complejas, debemos diferenciarlas de las algas, las cuales cuentan con una estructura más sencilla. La restauración de estos ecosistemas puede implicar mejorar las condiciones ambientales (por ejemplo, la calidad del agua) para fomentar la regeneración natural o puede implicar la siembra o el trasplante de plántulas o plantas maduras de camas de donantes.</p>	<p>Fuente: Seagrass Restoration Handbook (Gamble et al., 2021)</p> <p>Fuente de la imagen: WWF – La superestrella marina muy poco conocida en la lucha contra la crisis climática</p>
<p>Nombre de la SbN: Conservación y protección de <i>Estuarios</i></p>	
	<p>Amenazas que contrarresta:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Marejadas • Acidificación del mar • Inundaciones / Precipitación intensa • Incrementación del nivel del mar • Vientos fuertes / Tormentas • Sequías <p>Servicios ecosistémicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Purificación del agua y tratamiento de residuos • Aprovechamiento de alimentos (pesca) • Valor turístico y recreativo • Valor estético <p>Otros beneficios</p>

	<ul style="list-style-type: none"> • Preservación de la biodiversidad
<p>Descripción. Los estuarios son cuerpos de agua parcialmente encerrados que se forman por la interacción de agua dulce de ríos se mezclan con el agua salada del mar. Constituyen sistemas frágiles y complejos, siendo relevante su conservación al encontrarse dentro de las aguas biológicamente más productivas del mundo. La presión ejercida en las ciudades costeras sobre las desembocaduras es cada vez mayor y origina problemas de subsidencia, inundaciones y aumento de riesgos frente al cambio climático. El método más completo para la recuperación de ecosistemas es la restauración ecológica, que incluye la reclamación, la rehabilitación, la mitigación, la ingeniería ecológica y varios tipos de manejo de recursos tipo fauna silvestre, peces y hábitats. La recuperación de estos ecosistemas puede requerir intervenciones de diverso tipo y que dependerán del nivel de perturbación que ha sufrido el ecosistema.</p>	<p>Fuente: Restoring Estuarine and Coastal Habitats with Dredged Sediment (Manning et al, 2021)</p> <p>Fuente de la imagen: National Geographic - Estuary (Pickard, s.f)</p>

Ecosistemas Fluviales

Nombre de la SbN: <i>Vegetación de la cuenca hidrográfica</i>	
	<p>Amenazas que contrarresta:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Inundaciones / Precipitación intensa • Erosión del suelo • Sequías • Altas temperaturas • Vientos fuertes <p>Servicios Ecosistémicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Regulación de la calidad del aire • Regulación del clima • Regulación del agua • Valor estético <p>Otros beneficios</p> <ul style="list-style-type: none"> • Preservación de la biodiversidad
<p>Descripción. La vegetación de la cuenca ayuda a estabilizar el suelo y a frenar la escorrentía gracias a las raíces de los árboles y las plantas. Esto es especialmente importante en pendientes pronunciadas o en agroecosistemas con pocos obstáculos a la escorrentía. Es importante que la revegetación integre el uso de plantas nativas para reducir efectos adversos por la incorporación de plantas no acondicionadas a la cuenca.</p>	<p>Fuente: Guía metodológica sobre buenas prácticas en restauración fluvial (CIREF, 2015)</p> <p>Fuente de la imagen: El Búho (s.f)</p>
Nombre de la SbN: <i>Restauración de ríos</i>	

	<p>Amenazas que contrarresta:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Inundaciones / Precipitación intensa • Sequías • Erosión del suelo <p>Servicios Ecosistémicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Regulación del agua • Aprovechamiento de agua potable • Valor estético <p>Otros beneficios</p> <ul style="list-style-type: none"> • Preservación de la biodiversidad
<p>Descripción. Preservar y restaurar los cursos de agua contribuye a mantener o restablecer el buen funcionamiento del medio natural, sobre todo en lo que respecta a:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Absorber el agua excedente de los cursos desbordados y la escorrentía. Los ecosistemas forman así una zona de amortiguación durante las inundaciones. • Almacenamiento de agua, que luego se devuelve al medio natural y las capas freáticas y los ríos. Esto ayuda a reducir el riesgo de sequía. • Frenar la altura y la velocidad del agua, lo que reduce las consecuencias de las inundaciones (erosión, crecidas). <p>Entre las medidas de restauración se incluyen la restauración de meandros, el retroceso de diques, la creación de llanuras de inundación, la eliminación de presas, entre otras.</p>	<p>Fuente: Guía metodológica sobre buenas prácticas en restauración fluvial (CIREF,2015)</p> <p>Fuente de la imagen: WWF – La restauración de ríos en los planes hidrológicos (Ballarín et al, 2023)</p>
<p>Nombre de la SbN: Protección y conservación de <i>Humedales interiores naturales</i></p>	
	<p>Amenazas que contrarresta:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Inundaciones / Precipitación intensa • Erosión del suelo / Sequías • Acidificación del mar • Altas Temperaturas <p>Servicios Ecosistémicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Regulación de la calidad del aire • Regulación del clima • Regulación del agua • Purificación del agua y tratamiento de residuos • Aprovechamiento de materias primas (agricultura, pesca) • Valor turístico y recreativo

	<ul style="list-style-type: none"> • Valor estético <p>Otros beneficios</p> <ul style="list-style-type: none"> • Preservación de la biodiversidad
<p>Descripción. Los humedales son ecosistemas productivos de gran biodiversidad que forman una interfaz entre la tierra y el agua ofreciendo importantes servicios ecosistémicos. Entre los tipos de humedales, las turberas destacan por su naturaleza ácida que permite la acumulación de materia orgánica en forma de turba, compuesta por musgos y vegetación. En Chile, las turberas se extienden desde Los Lagos, hasta Tierra del Fuego, cubriendo aproximadamente 90,000 ha. Entre tipos de humedales de Chile también encontramos las pomponeras. En las últimas décadas, su capacidad para proteger a las ciudades de inundaciones y su contribución a la regulación hídrica han sido más reconocidas. Los humedales absorben el agua de desbordes y escorrentías, actuando como zonas de amortiguación durante las inundaciones. Además, almacenan agua que luego se libera lentamente, reduciendo el riesgo de sequía y manteniendo el equilibrio en ríos y acuíferos. Aunque lo ideal es prevenir la pérdida de humedales eliminando las presiones que impulsan su degradación, muchos humedales drenados conservan características que permiten su recuperación. Un proceso destacado para la restauración es el uso de tecnosoles, suelos creados a partir de residuos orgánicos e inorgánicos, que se diseñan y aplican según las necesidades del ecosistema, facilitando su renovación y funcionalidad.</p>	<p>Fuente: Tomado de World Bank (2021) y Fundación Chile (2019)</p> <p>Fuente de la imagen: Urban NBS catalogue (World Bank , 2021)</p>

Infraestructura híbrida

La infraestructura híbrida se define como la infraestructura verde o azul combinada con las infraestructuras convencionales o grises, realizadas para reducir el riesgo de desastres y ayudar a desarrollar la resiliencia climática. Las infraestructuras híbridas pueden proporcionar un máximo de beneficios de protección, ya que un enfoque combinado se beneficia del potencial de ambas medidas para hacer frente a múltiples amenazas (UNDRR,2023). En este grupo de intervenciones encontramos la implementación de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), las zonas de captación de agua y las medidas de diseño pasivo. Esta última incluye aquellas acciones de diseño arquitectónico y paisajístico que aprovechen los recursos naturales para mejorar la eficiencia energética, el confort térmico y la resiliencia de los entornos urbanos y edificaciones sin recurrir a sistemas mecánicos.

Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS)

Nombre de la SbN: Pavimentos permeables

 <p>1.- Pavimento permeable. 2.- Capa de apoyo de arenas gruesas o gravas finas. 3.- Capa de transición con gravas medias. 4.- Capa de almacenamiento con g gruesas. 5.- Suelo natural. 6.- Infiltración cuando sea posible.</p>	 <p><i>Aparcamiento de hormigón permeable en el Estadio del Atlético de Madrid.</i></p>	<p>Amenazas que contrarresta:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Precipitación intensa / Inundaciones ● Estabilización del suelo / Sequías <p>Servicios Ecosistémicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Regulación del agua <p>Otros beneficios</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Costos bajos ● Diseño flexible/adaptable ● Permite un uso versátil del espacio ● Necesita poco mantenimiento
<p>Descripción. Los pavimentos permeables son una estructura portante, que permite el paso tanto de peatones como de vehículos, así como la filtración de la escorrentía hacia una capa inferior de almacenamiento temporal (subbase), compuesta por gravas, celdas y/o cajas reticulares. Tras su almacenamiento, el agua se evacúa por infiltración y/o a través de drenes.</p> <p>Fuente: Guía Básica de Diseño de Sistema de Gestión Sostenible de Aguas Pluviales (Perales y Calcerrada, 2018)</p> <p>Fuente de la imagen: Guía Básica de Diseño de Sistema de Gestión Sostenible de Aguas Pluviales (Perales y Calcerrada, 2018)</p>		
<p>Nombre de la SbN: Alcorques estructurales</p>		
 <p>1.- Rejilla para proteger el árbol. 2.- Acera. 3.- Suelo estructural. 4.- Desarrollo de raíces del árbol. 5.- Tubería ranurada de drenaje.</p>	 <p><i>Alcorque estructural en el barrio de Bon Pastor de Barcelona.</i></p> <p>Fuente: Instituto Municipal de Urbanismo, Barcelona.</p>	<p>Amenazas que contrarresta:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Precipitación intensa / Inundaciones ● Estabilización del suelo <p>Servicios Ecosistémicos: (al beneficiar el crecimiento de los árboles):</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Regulación de la calidad del aire ● Regulación del clima ● Valor estético <p>Otros beneficios</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Reducción de la cantidad de energía consumida ● Preservación de la biodiversidad ● Mejor confort térmico ● Control de la contaminación acústica

Descripción. Los alcorques estructurales, también conocidos como alcorques de infiltración, son el conjunto del hueco en el pavimento donde se planta el árbol y el suelo estructural que lo rodea y sobre el que asienta el pavimento, sin interferir con los servicios subterráneos urbanos. El suelo estructural, formado por gravas o celdas rellenas de tierra vegetal, permite el desarrollo de las raíces, tiene capacidad portante para ser transitado y alberga la escorrentía temporalmente. El exceso de agua podrá infiltrarse al terreno y, si no es posible, ser dirigido hacia el siguiente elemento del sistema de drenaje.

Fuente: Guía Básica de Diseño de Sistema de Gestión Sostenible de Aguas Pluviales (Perales y Calcerrada, 2018)

Fuente de la imagen: Guía Básica de Diseño de Sistema de Gestión Sostenible de Aguas Pluviales (Perales y Calcerrada, 2018)

Nombre de la SbN: Drenes y subdrenes filtrantes



- 1.- Sistema de pre-tratamiento.
- 2.- Flujo superficial.
- 3.- Ancho.
- 4.- Abertura de inspección visual.
- 5.- Gravitas finas.
- 6.- Gravitas gruesas.
- 7.- Tubería dren perforada.
- 8.- Infiltración si es posible.
- 9.- Filtro de geotextil.
- 10.- Profundidad de 1 a 2,5 m.



Dren filtrante en Madrid Río – Puente de la Princesa

Amenazas que contrarresta:

- Precipitación intensa / Inundaciones / protección de taludes

Servicios Ecosistémicos:

- Regulación del agua

Otros beneficios:

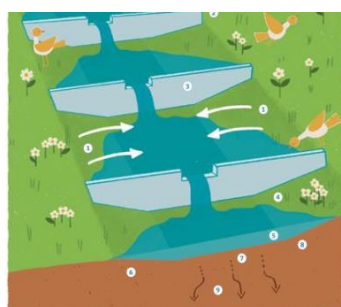
- Instalación sencilla
- Costos bajos
- Se integra fácilmente en el paisaje

Descripción. Los drenes filtrantes son zanjas rellenas de grava que, generalmente, tienen un dren perforado en la base. También pueden estar constituidas por celdas y cajas reticulares envueltas en geotextiles y material granular. Reciben la escorrentía proveniente de las áreas impermeables adyacentes por los laterales. Esta escorrentía se filtra y almacena temporalmente en las gravas o cajas, mientras se transporta aguas abajo del sistema.

Fuente: Guía Básica de Diseño de Sistema de Gestión Sostenible de Aguas Pluviales (Perales y Calcerrada, 2018)

Fuente de la imagen: Guía Básica de Diseño de Sistema de Gestión Sostenible de Aguas Pluviales (Perales y Calcerrada, 2018)

Nombre de la SbN: Cunetas Verdes



- 1.- Escorrentía urbana.
- 2.- Máxima pendiente recomendada 5%.
- 3.- Terrazas intermedias cuando la pendiente es mayor que 5%.
- 4.- Altura de la hierba en torno a 15 cm.
- 5.- Forma trapezoidal.
- 6.- Altura para tratamiento del agua aproximadamente 2/3 de la altura de la hierba.
- 7.- Ancho máximo recomendado del canal 3 m.
- 8.- Pendiente lateral 3:1 como máximo (H.V.).
- 9.- Infiltración si es posible.



Cuneta vegetada en la Ronda Norte de Xàtiva (Valencia).

Fuente: Green Blue Management.

Amenazas que contrarresta:

- Precipitación intensa / Inundaciones
- Erosión del suelo / Sequías

Servicios Ecosistémicos:

- Regulación del agua

Otros beneficios:

- Preservación de la biodiversidad
- Costos bajos
- Mantenimiento sencillo
- Se integra fácilmente en el paisaje

Descripción. Las cunetas verdes son canales anchos, de poca profundidad y cubiertos de vegetación diseñados específicamente para captar, tratar y transportar la escorrentía. Con una pendiente tendida y la vegetación se consigue ralentizar la escorrentía, favoreciendo la sedimentación, la filtración, la infiltración y la eliminación de contaminantes; y evitar la erosión del cauce.

Fuente: Guía Básica de Diseño de Sistema de Gestión Sostenible de Aguas Pluviales (Perales y Calcerrada, 2018)

Fuente de la imagen: Guía Básica de Diseño de Sistema de Gestión Sostenible de Aguas Pluviales (Perales y Calcerrada, 2018)

Nombre de la SbN: Áreas de bioretención



- 1.- Agua desde superficie impermeable.
- 2.- Bloque dissipador de energía.
- 3.- Separación suficiente de la cimentación.
- 4.- Ancho mínimo (más de 2 m.)
- 5.- Vegetación resistente a periodos húmedos y secos.
- 6.- Profundidad entre 15 y 30 cm
- 7.- Infiltración al subsuelo.
- 8.- Tierra vegetal.



Jardín de lluvia en la C/ Alfonso XIII con C/ Paraguay, en Madrid.



Amenazas que contrarresta:

- Precipitación intensa / Inundaciones
- Erosión del suelo / Sequías
- Altas temperaturas

Servicios Ecosistémicos:

- Regulación de la calidad del aire
- Regulación del agua
- Regulación del clima
- Valor estético

Otros beneficios:

- Preservación de la biodiversidad
- Costos bajos
- Diseño flexible/adaptable
- Instalación sencilla
- Se integra fácilmente en el paisaje
- Permite ahorrar y almacenar agua para fines de riego

Descripción. Las áreas de biorretención son una SbN que se utiliza para aumentar la infraestructura gris tradicional de aguas pluviales y alcantarillado. Estas suelen diseñarse como depresiones vegetales poco profundas que pueden interceptar, infiltrar, desviar, modificar el volumen y la velocidad y tratar el flujo de las aguas pluviales. El tipo de suelo, la profundidad del terreno y el tipo de vegetación determinan la eficacia y la capacidad de tratamiento de una zona de biorretención. Reducen los contaminantes mediante la filtración de la escorrentía a través de la vegetación y el suelo preparado inferior. Si es posible, el agua se infiltra al terreno y, en caso contrario, se puede instalar un drenaje subsuperficial para evacuar controladamente la escorrentía almacenada. Las zonas de biorretención pueden ser especialmente valiosas en ciudades antiguas con sistemas combinados de alcantarillado o con una extensión limitada de superficies permeables y un gran volumen de escorrentía contaminada. Entre las más conocidas encontramos los jardines de lluvia o parterres inundables.

Fuente: Guía Básica de Diseño de Sistema de Gestión Sostenible de Aguas Pluviales (Perales y Calcerrada, 2018)

Fuente de la imagen: Guía Básica de Diseño de Sistema de Gestión Sostenible de Aguas Pluviales (Perales y Calcerrada, 2018)

Nombre de la SbN: Cubiertas verdes

<div data-bbox="205 383 587 719"> </div> <div data-bbox="199 712 593 795"> <ol style="list-style-type: none"> 1.- Filtro de hojas. 2.- Grava. 3.- Vegetación. 4.- Sustrato. 5.- Lámina geotextil filtrante. 6.- Drenaje/almacenamiento. 7.- Membrana impermeable. 8.- Aislante térmico. 9.- Estructura. 10.- Bajante. </div> <div data-bbox="285 797 507 822"> <p>Fuente: Ayto. de Benaguasil.</p> </div> <div data-bbox="689 383 951 770"> </div> <div data-bbox="616 775 1026 819"> <p>Cubierta vegetalada en el supermercado Mercadona de la C/ Bravo Murillo (Madrid). Fuente: Mercadona S.A.</p> </div>	<p>Amenazas que contrarresta:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Precipitación intensa / Inundaciones ● Altas temperaturas ● Vientos fuertes <p>Servicios Ecosistémicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Regulación de la calidad del aire ● Regulación del clima ● Valor recreativo ● Valor estético <p>Otros beneficios:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Preservación de la biodiversidad ● Mejor confort térmico ● Mejora la vida útil de la cubierta ● Aumenta el valor de la propiedad ● Reducción de la cantidad de energía consumida ● Permite un uso versátil del espacio
<p>Descripción. Las cubiertas vegetadas son un sistema multicapa, compuesto de un sustrato con vegetación sobre una capa drenante y una membrana impermeable, instalado en la cubierta de un edificio. La lluvia que cae sobre este sistema es filtrada por la vegetación, retenida por el sustrato y, el exceso, evacuado a través de la capa drenante, que a su vez también puede tener una capacidad de almacenamiento de agua importante (que servirá como riego pasivo en periodos secos).</p> <p>Los muros o fachadas verdes son estructuras verticales diseñadas para plantar vegetación. Necesitan de un sistema integrado de riego que suele estar tele gestionado para evitar afección a las plantas por averías.</p>	<p>Fuente: Guía Básica de Diseño de Sistema de Gestión Sostenible de Aguas Pluviales (Perales y Calcerrada, 2018)</p> <p>Fuente de la imagen: Guía Básica de Diseño de Sistema de Gestión Sostenible de Aguas Pluviales (Perales y Calcerrada, 2018)</p>

Zonas de Captación de agua

Nombre de la SbN: Estanques de retención

	<p>Amenazas que contrarresta:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Precipitación intensa / Inundaciones • Altas temperaturas • Erosión del suelo <p>Servicios Ecosistémicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Regulación del agua • Aprovechamiento de agua potable • Valor estético • Valor recreativo y educativo <p>Otros beneficios:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Preservación de la biodiversidad
<p>Descripción. El objetivo fundamental de estos estanques es reducir los caudales máximos hacia aguas abajo. Los estanques de retención se diseñan de manera que se vacíen totalmente después de un periodo relativamente corto una vez que pasa la tormenta y por lo tanto la mayor parte del tiempo se encuentran vacíos o secos. Son alimentados de aguas lluvias que han escurrido por techos, calles, estacionamientos, conjuntos residenciales, áreas comerciales e incluso áreas industriales.</p>	<p>Fuente: Obras de almacenamiento (MINVU, s.f)</p> <p>Fuente de la imagen: Los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible: Una Alternativa a la Gestión del Agua de Lluvia (Peráles-Momparler y Andrés-Domenech, 2008)</p>
<p>Nombre de la SbN: Zanjas y Pozos de infiltración</p>	
 <p>1.- Sistema de pre-tratamiento. 6.- Gravas gruesas. 2.- Flujo superficial. 7.- Terreno con capacidad de infiltración. 3.- Ancho de la zanja. 8.- Lámina geotextil. 4.- Abertura de inspección visual. 9.- Profundidad 1-2 m. 5.- Gravas finas.</p> 	<p>Amenazas que contrarresta:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Precipitación intensa / Inundaciones • Erosión del suelo / Sequías <p>Servicios Ecosistémicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Regulación de la erosión • Aprovechamiento de agua potable <p>Otros Beneficios:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Necesita poco espacio • Se integra fácilmente en el paisaje • Permite recuperar la fertilidad de los suelos
<p>Descripción. Los pozos y zanjas de infiltración son excavaciones en el terreno que captan y almacenan temporalmente la escorrentía de superficies impermeables contiguas antes de su infiltración al subsuelo. La diferencia reside en la forma de la excavación. Las zanjas son lineales, poco profundas y están rellenas de material drenante (granular o sintético); la superficie puede recubrirse de hierba, grava, arena o vegetación, sirviendo de pretratamiento. En cambio, en los pozos predomina la dimensión vertical, son profundos y están rellenos con material drenante (pozos de infiltración sin revestir) o contienen las tierras con un anillo reforzado (pozos de infiltración</p>	<p>Fuente: Guía Básica de Diseño de Sistema de Gestión Sostenible de Aguas Pluviales (Perales y Calcerrada, 2018)</p> <p>Fuente de la imagen: Guía Básica de Diseño de Sistema de Gestión</p>

<p>revestidos). Para un adecuado aprovechamiento de las aguas en la parte superior e inferior, de ellas, se deben plantar especies vegetales herbáceas, idealmente perennes, o plantas arbustivas, que sirvan como barreras vivas.</p>	<p>Sostenible de Aguas Pluviales (Perales y Calcerrada, 2018)</p>
<p>Nombre de la SbN: Depósitos reticulares</p>	
<div data-bbox="231 421 558 683"> <p>1.- Bloques de plástico. 2.- Geotextil permeable. 3.- Gravas o material granular. 4.- Geotextil permeable. 5.- Infiltración cuando es posible. 6.- Pavimento permeable. 7.- Conducto de rebose.</p> </div> <div data-bbox="614 421 1021 649"> <p>Construcción de un depósito de infiltración con cajas reticulares en la Nueva Sede BBVA en Madrid. Fuente: Ayto. de Madrid.</p> </div>	<p>Amenazas que contrarresta:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Precipitación intensa / Inundaciones • Erosión del suelo / Sequías <p>Otros Beneficios:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Diseño flexible/adaptable • Instalación sencilla • Permite un uso versátil del espacio
<p>Descripción. Los depósitos reticulares son estructuras modulares reticulares de polipropileno con un alto índice de huecos, generalmente superior al 90 %, y una capacidad portante elevada. Se utilizan para crear estructuras subterráneas (generalmente combinadas con gravas y geotextiles), que almacenan y, en su caso, transportan, la escorrentía una vez filtrada. Mientras que en las celdas la función primaria suele ser la de actuar de transporte plano, las cajas se emplean para conformar espacios de almacenamiento temporal.</p>	<p>Fuente: Guía Básica de Diseño de Sistema de Gestión Sostenible de Aguas Pluviales (Perales y Calcerrada, 2018)</p> <p>Fuente de la imagen: Guía Básica de Diseño de Sistema de Gestión Sostenible de Aguas Pluviales (Perales y Calcerrada, 2018)</p>
<p>Nombre de la SbN: Aljibes</p>	
<div data-bbox="204 1220 595 1512"> <p>1.- Filtro para hojas. 2.- Bomba de agua. 3.- Apertura para mantenimiento. 4.- Agua aprovechada para usos no potables. 5.- Desvío de las primeras aguas. 6.- Excedente al sistema de drenaje.</p> </div> <div data-bbox="635 1220 1018 1512"> <p>Aljibe en el colegio público Gozalbes Vera de Xàtiva (Valencia).</p> </div>	<p>Amenazas que contrarresta:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Precipitación intensa / Inundaciones • Sequías (al almacenar el agua) <p>Otros Beneficios:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Reducción de la factura de agua • Valor educativo
<p>Descripción. Los aljibes son estructuras sencillas que permiten el aprovechamiento del agua de lluvia. Interceptan la escorrentía de tejados y superficies impermeables y la almacenan para su empleo en usos que no requieran la calidad del agua potable, como es el riego de jardines o la limpieza de vehículos, entre otros. Por su localización puede distinguirse entre los que están al aire libre, que podrían funcionar por gravedad, y los enterrados, para los que hará falta un sistema de bombeo.</p>	<p>Fuente: Guía Básica de Diseño de Sistema de Gestión Sostenible de Aguas Pluviales (Perales y Calcerrada, 2018)</p> <p>Fuente de la imagen: Guía Básica de Diseño de Sistema de Gestión Sostenible de Aguas Pluviales (Perales y Calcerrada, 2018)</p>

Nombre de la SbN: Plazas de agua



Amenazas que contrarresta:

- Incremento del nivel del mar
- Sequías
- Inundaciones
- Lluvias intensas

Servicios Ecosistémicos:

- Moderación de eventos extremos
- Valor turístico y recreativo
- Valor estético

Otros Beneficios:

- Atenuación de caudales pico

Descripción. Las plazas de agua (en inglés Urban Water Squares) consisten en la construcción de plazas para contener el exceso de agua en situaciones de lluvias muy abundantes, las cuales se encuentran acondicionadas para que, en época seca, sean utilizadas para actividades de recreación. En otras palabras, es un estanque de concreto diseñado como un anfiteatro "hundido" donde se acumula el agua, quedando ahí por un tiempo para luego ser bombeada al sistema de captación de agua o cauces naturales.

Fuente: Portafolio de Medidas, Acciones y Soluciones Seguridad Hídrica (Fundación Chile, 2019)

Fuente de la imagen: Urban Green-Blue Grids for resilient Cities (Urban Green-Blue Grids, sf)

Nombre de la SbN: Hidro tecnologías ancestrales: qochas



Amenazas que contrarresta:

- Sequías
- Inundaciones
- Lluvias intensas

Servicios Ecosistémicos:

- Regulación del agua
- Regulación de la erosión
- Aprovechamiento de agua potable
- Valor turístico y recreativo

Otros Beneficios:

- Recarga de acuíferos y aguas subterráneas
- Atenuación de caudal pico
- Preservación de la biodiversidad
- Mejora de la oferta hídrica
- Bajo costo de mantenimiento

<p>Descripción. Sistemas ancestrales que consisten en depresiones terrestres que permiten recolectar agua proveniente de escurrimientos superficiales para fines en épocas de sequía prolongada. Estas lagunas pueden ser utilizadas para recarga de acuíferos mediante la infiltración del agua en el terreno, aunque también pueden usarse para el almacenamiento, después de una compactación del suelo con materiales que impiden el escurrimiento subterráneo.</p>	<p>Fuente: Portafolio de Medidas, Acciones y Soluciones Seguridad Hídrica (Fundación Chile, 2019)</p> <p>Fuente de la imagen: Agua y Agricultura (s.f.)</p>
<p>Nombre de la SbN: Hidro tecnologías ancestrales: amunas</p>	
	<p>Amenazas que contrarresta:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sequías • Inundaciones • Lluvias intensas • Vaciamiento de lagos glaciares • Erosión del suelo • Remociones de Masa <p>Servicios Ecosistémicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Regulación del agua • Regulación de la erosión • Aprovechamiento de agua potable • Valor turístico y recreativo <p>Otros Beneficios:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Almacenamiento de agua • Recarga de acuíferos y aguas subterráneas • Atenuación de caudal pico • Reducción de la escorrentía • Estabilización del suelo • Mejora de la Oferta Hídrica • Bajo coste de mantenimiento
<p>Descripción. Las amunas consisten en zanjas abiertas que siguen las curvas de nivel (canales amunadores) para conducir el agua de lluvia y deshielos desde las partes altas de la cuenca hacia reservorios, donde se recibe el agua y luego se filtra en la montaña a través de superficies fracturadas, porosas y rocosas, para surgir, aguas abajo, como afloramientos meses después, en épocas donde no hay lluvias y el estiaje es más marcado en la cuenca. Otra manera también es captando aguas de ríos o arroyos conduciendo esa agua a suelos permeables. Permite alimentar, gradual e ininterrumpidamente, los manantiales existentes aguas abajo y disponer de este recurso durante meses de sequía (época de estiaje)</p>	<p>Fuente: Portafolio de Medidas, Acciones y Soluciones Seguridad Hídrica (Fundación Chile, 2019)</p> <p>Fuente de la imagen: Stakeholders (s.f.)</p>

Diseño Urbano Pasivo

<p>Nombre de la acción: Diseño Bioclimático</p>
--

	<p>Amenazas que contrarresta:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Altas Temperaturas • Olas de Calor • Vientos Fuertes • Lluvias Intensas <p>Servicios Ecosistémicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Regulación del clima • Valor estético <p>Otros Beneficios:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mejora del confort térmico • Reducción del gasto energético en edificaciones
<p>Descripción. Las medidas de diseño bioclimático de orientación de fachadas, situación del aislamiento y los elementos captadores, la disposición de los huecos sobre cada fachada y la forma de la edificación reducen las necesidades térmicas en invierno y verano de los inmuebles.</p>	<p>Fuente: Buenas Prácticas en arquitectura y urbanismos para Madrid (área de Gobierno de Urbanismos y Vivienda del Ayuntamiento de Madrid, 2009)</p> <p>Fuente de la imagen: Arquitectura Sostenible (Fernández, s.f)</p>
<p>Nombre de la SbN: Revegetación de estructuras urbanas</p>	
	<p>Amenazas que contrarresta:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Altas Temperaturas • Olas de Calor • Vientos Fuertes • Lluvias Intensas <p>Servicios Ecosistémicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Regulación del clima • Valor estético <p>Otros Beneficios:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Preservación de la Biodiversidad • Mejora de la calidad de aire y control de la contaminación atmosférica • Captura de carbono y reducción de GEI • Fácil integración con el paisaje agregando valor estético • Bajo costo de implementación comparado con otras alternativas

<p>Descripción. Revegetar elementos urbanos consiste en generar pequeñas intervenciones de obra civil para favorecer la vegetación en elementos de la vía pública como pórticos, soportales, vallados, casetas, postes, etc. Esta propuesta no busca reemplazar elementos existentes sino realizar intervenciones que permitan incorporar vegetación en esos elementos para fomentar la biodiversidad. Es una estrategia de resultado rápido gracias a la cual, mediante sencillas intervenciones, se obtienen efectos positivos en el corto plazo.</p>		<p>Fuente: Manual de SbN - Madrid (Dirección General de Gestión de Agua y Zonas Verdes, 2024)</p> <p>Fuente de la imagen: Manual de SbN - Madrid (Dirección General de Gestión de Agua y Zonas Verdes, 2024)</p>
<p>Nombre de la SbN: Instalación de pérgolas verdes</p>		
		<p>Amenazas que contrarresta:</p> <ul style="list-style-type: none">• Altas Temperaturas• Olas de Calor• Vientos Fuertes• Lluvias Intensas <p>Servicios Ecosistémicos:</p> <ul style="list-style-type: none">• Regulación del clima• Valor estético <p>Otros Beneficios:</p> <ul style="list-style-type: none">• Preservación de la biodiversidad• Agrega valor paisajístico, cultural y recreativo
<p>Descripción. La instalación de pérgolas consiste en la incorporación de plantas tapizantes, trepadoras y enredaderas en el espacio público y plazas urbanas. En muchas ocasiones, estas especies complementan otras formaciones vegetales o se adhieren a elementos como muros, estructuras de pérgolas, etc. Estas infraestructuras favorecen la biodiversidad, contribuyen a la creación de espacios de sombra disminuyendo las islas de calor. En épocas de mucho calor, excepto de sequías, se pueden incorporar micro difusores que permitan refrescar el aire.</p>		<p>Fuente: Manual de SbN - Madrid (Dirección General de Gestión de Agua y Zonas Verdes, 2024)</p> <p>Fuente de la imagen: Manual de SbN - Madrid (Dirección General de Gestión de Agua y Zonas Verdes, 2024)</p>
<p>Nombre de la SbN: Humedales artificiales</p>		

	<p>Amenazas que contrarresta:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Incremento del nivel del mar • Sequías • Inundaciones • Lluvias intensas <p>Servicios Ecosistémicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Purificación del agua y tratamiento de residuos • Aprovechamiento de agua potable (riego) <p>Otros Beneficios:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Genera reducción del consumo de agua • Capacidad de reuso para riego • Bajo costo de mantenimiento • Bajo consumo energético
<p>Descripción. Un humedal artificial es un sistema de tratamiento de aguas residuales que utiliza procesos naturales para la depuración. Estos sistemas consisten en lagunas o canales de poca profundidad con una capa impermeabilizante que evita la contaminación del agua freática y un sustrato que sostiene la vegetación macrófita, como eneas, carrizos y juncos. Pueden ser de dos tipos: superficiales, donde el agua fluye sobre el terreno expuesta al sol y la atmósfera, o subsuperficiales, en los que el agua se filtra a través de un lecho de arena o grava, interactuando con las raíces de las plantas bajo la superficie. Ambos procesos permiten la eliminación de contaminantes mediante interacciones físico-químicas y biológicas.</p>	<p>Fuente: Portafolio de Medidas, Acciones y Soluciones Seguridad Hídrica (Fundación Chile, 2019)</p> <p>Fuente de la imagen: SSWM (s.f.)</p>

4.5. Reflexiones iniciales sobre la integración de SbN en la infraestructura del MOP

Para implementar SbNs y generar los servicios ecosistémicos que conllevan, la bibliografía evidencia que la mayoría de los proyectos tienen que hacer frente a una serie de barreras o dificultades. En base a la información levantada en el capítulo a través de la revisión de la bibliografía académica y de los testimonios disponibles, se puede destacar los siguientes puntos a tener en cuenta para implementar con éxito un proyecto SbN (UICN, 2018; Eunice et al., 2022; UICN, 2022)

A nivel tecnológico

Entre los casos analizados, se puede observar un patrón en las tecnologías implementadas para abordar desafíos similares.

Por ejemplo, para enfrentar problemas en los bordes costeros, como la erosión costera, peligro de inundaciones y el aumento del nivel del mar, las medidas de SbN implementadas se centran en la recuperación de los sedimentos que permitan la recuperación del ecosistema costero (marismas) que son resilientes al cambio climático. Esto se logra directamente mediante la alimentación o nutrición del

borde costero con sedimentos, o de forma indirecta mediante la implementación de presas permeables que permitan el ingreso gradual y constante del sedimento.

Para el caso de olas de calor, aumento de temperatura en zonas urbanas y periurbanas se suele emplear un diseño biofílico¹⁴ en los proyectos, el cual puede comprender tejados verdes, fachadas verdes, jardines de lluvia, biovaletas o coberturas verdes colgantes, así como corredores verdes que atraviesan y rodean la ciudad. En general, el empleo de cobertura vegetal tanto en la infraestructura como en lugares estratégicos de la ciudad permiten reducir el efecto de islas de calor en las ciudades.

Los problemas de inundaciones en ciudades tienen una medida de SbN muy implementada tanto a nivel internacional como nacional, las cuales se conocen como parques inundables. Estos parques cuentan con un diseño que busca replicar el comportamiento natural de los cursos de agua, mediante la creación de meandros, el uso de materiales y especies vegetales locales, así como la aplicación de técnicas de bioingeniería del suelo, como suelos permeables.

En el caso de riesgo de deslizamientos en laderas o erosión de riberas, la medida que se suele implementar es la forestación o reforestación de estas laderas o riberas y la restauración de los ecosistemas circundantes. Estas acciones ayudan a estabilizar el suelo, reducir la velocidad de la escorrentía y absorber el agua durante incrementos de precipitación.

Para eventos de sequías especialmente en zonas altoandinas las zanjas de infiltración, pozos de absorción, reforestación de zonas degradadas, restauración de humedales y la revalorización de la infraestructura hidráulica local precolombino, son las medidas que suelen emplearse debido a su integración con el ecosistema circundante, fácil implementación por los lugareños y bajos costos de instalación y mantenimiento. Actúan como reservorios naturales de agua y permiten su cosecha. Al respecto, el empleo de infraestructura precolombina para el manejo de recursos hídricos, que integra eficazmente los servicios ecosistémicos con la ingeniería, está cobrando mayor relevancia en la actualidad.

La tecnología de humedales, tanto naturales como artificiales, es una de las prácticas más comunes debido a sus numerosos beneficios, que incluyen la reducción de la contaminación, el control de inundaciones y sequías, así como la promoción de la biodiversidad. Pudiendo replicarse además para diferentes tipos de ecosistemas, terrestres y marítimos.

Si bien se evidencia este patrón en las tecnologías o SbN aplicadas, para la implementación de estas soluciones es necesario considerar las especificidades locales - como las condiciones meteorológicas, el tipo de terreno, el ciclo de vida de las especies, entre otros - durante la fase de formulación del proyecto para contrarrestar obstáculos técnicos y ambientales, garantizar la sostenibilidad de los proyectos y maximizar los beneficios por los servicios ecosistémicos ofrecidos.

¹⁴ Corriente arquitectónica que busca reconectar la naturaleza con el ser humano que ayude en su salud y bienestar. Emplea la naturaleza en el espacio interior no como un elemento aislado sino como una parte integral de este. https://oa.upm.es/63239/1/TFG_Jun20_Beltre_Ortega_Alba.pdf

A nivel de replicabilidad

Los casos analizados provienen de diversas regiones y países de todo el mundo, lo que significa que cada medida SbN implementada está adaptada a las características geográficas de su ubicación. Sin embargo, existen tecnologías que son aplicables en una variedad de entornos geográficos, como los humedales, que se encuentran en una variedad de ambientes. Estos pueden implementarse en diferentes escalas, ya sea a nivel urbano o rural, y pueden utilizarse de manera independiente o integrados con otras tecnologías. El nivel de inversión y complejidad de los humedales dependerá de la problemática específica que se esté abordando, lo que permite su adaptación a las distintas situaciones que enfrenta Chile.

Las tecnologías empleadas para proteger el borde costero varían en su nivel de complejidad y requerimientos. Por un lado, la alimentación con sedimentos, que tiene un impacto inmediato, demanda un alto nivel tecnológico, maquinaria pesada y una logística sofisticada, así como un análisis minucioso del comportamiento de las costas para una implementación adecuada. Por otro lado, la construcción de presas permeables es una intervención más pasiva que no implica costos elevados, aunque requiere estudios detallados del comportamiento del mar y cuyos beneficios se aprecian a largo plazo. Se puede optar por una combinación de tecnologías pasivas, como las presas permeables, junto con elementos de infraestructura gris para prolongar su vida útil y acelerar sus beneficios a corto plazo.

Los corredores verdes son una medida ampliamente aplicada en diversas regiones y pueden replicarse en Chile. No obstante, su implementación requiere un alto nivel de experiencia en planificación urbana, así como un conocimiento profundo de las especies autóctonas de la región y su comportamiento estacional. Es crucial comprender los requerimientos específicos de estas especies, los cuales varían según la macrozona del país, para seleccionar adecuadamente las especies a emplear.

La infraestructura precolombina en Chile puede ser objeto de revalorización, siguiendo el ejemplo de otras regiones de Latinoamérica. Esta revalorización puede complementarse con infraestructura moderna, preservando al mismo tiempo la funcionalidad original de estos elementos.

Para asegurar la replicabilidad y éxito de los proyectos SbN es necesario un intercambio bilateral de información, así como un seguimiento y monitoreo continuo de los resultados, para contrarrestar barreras de incertidumbre y falta de conocimientos. Para ello, es necesario realizar un análisis completo de costes y beneficios antes de poner en marcha cada proyecto, lo que permite que los responsables puedan comparar las ventajas e inconvenientes entre las SbN y las soluciones grises o convencionales.

A largo plazo, es importante compartir resultados y buenas prácticas con los responsables de la toma de decisiones, como medida para disminuir gradualmente la falta de conocimientos entre los diversos actores. Asimismo, se debe contratar personal cualificado o formar a los responsables del proyecto para que puedan resolver la complejidad técnica de las SbNs, ya sea en las fases de planificación, ejecución o mantenimiento. Para lograrlo, se debe establecer un seguimiento y sensibilización continua del proyecto, asignando los recursos necesarios para estos objetivos.

Una financiación sostenible y a largo plazo es esencial para mantener el funcionamiento de los ecosistemas. La financiación debe preverse y garantizarse desde la fase de concepción del proyecto para evitar el riesgo de ver desaparecer los fondos destinados al mantenimiento de la SbN si el

presupuesto de la institución responsable se ve restringido. La diversificación de las fuentes de financiación puede contribuir a la sostenibilidad de los proyectos SbN.

A nivel de aprendizaje

Se identificaron experiencias donde las Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) no surgieron como una respuesta directa al cambio climático, sino como una solución a problemas ocasionados por la intervención humana, tales como la urbanización acelerada y la contaminación. En estos casos, la reintroducción y restauración de la infraestructura natural preexistente se ha convertido en parte integral de la planificación urbana moderna, como respuesta a las limitaciones de las soluciones convencionales.

Las infraestructuras rígidas, como los canales rectos de concreto en arroyos, han demostrado ser insuficientes para ofrecer soluciones integrales y sostenibles a largo plazo. Estos canales, al no respetar los cursos naturales del agua, no solo limitan los beneficios adicionales como la mejora de la biodiversidad o la regulación de los ciclos hídricos, sino que también resultan costosos en mantenimiento. De manera similar, los diques y otras defensas costeras, aunque inicialmente cumplen con su función de protección, alteran los ecosistemas adyacentes con el tiempo, disminuyendo su capacidad de adaptación y comprometiendo su resiliencia. Por tanto, muchas ciudades y territorios han optado por reintegrar soluciones naturales que aportan beneficios tanto ecológicos como sociales.

En todas estas experiencias, la **participación ciudadana** ha demostrado ser fundamental para el éxito y la sostenibilidad de los proyectos. Involucrar a las comunidades locales desde la etapa inicial del proyecto asegura una mayor aceptación y facilita la apropiación de las medidas implementadas. Este compromiso ciudadano no solo fomenta el arraigo del proyecto en el territorio, sino que también permite mejorar el diseño y ejecución de las SbN mediante el aprovechamiento del conocimiento local. Para lograr una participación efectiva, es necesario llevar a cabo un proceso de sensibilización que permita a los actores locales entender los beneficios y limitaciones de las SbN, así como garantizar la comunicación continua de los avances y resultados.

Las SbN, especialmente aquellas que abarcan grandes unidades ecológicas como la restauración de cuencas o la conservación de ecosistemas, requieren una **gobernanza interinstitucional, eficaz**. La magnitud y complejidad de estos proyectos superan a menudo las competencias individuales de una sola entidad, lo que evidencia la necesidad de una colaboración coordinada entre diferentes niveles de gobierno, agencias y sectores. En el caso del Ministerio de Obras Públicas (MOP), la implementación exitosa de SbN exige la integración de diferentes actores, tanto públicos como privados, que aporten recursos, competencias normativas y financiamiento.

Para superar los obstáculos derivados de recursos limitados, competencias fragmentadas y restricciones presupuestarias, es fundamental establecer una gobernanza **flexible y adaptable**. Esta debe ser capaz de responder a las nuevas exigencias normativas y ajustar las acciones en función de las necesidades emergentes de los ecosistemas y las comunidades locales. La participación activa de diversas partes interesadas, como las comunidades afectadas, ONGs y gobiernos locales, es clave para garantizar la **justicia ambiental** y fortalecer la cohesión interinstitucional.

En este sentido, el MOP debe liderar un proceso de **gobernanza inclusiva**, donde la participación ciudadana y la colaboración interinstitucional sean pilares fundamentales. Este enfoque permitirá no

solo cumplir con los objetivos establecidos en los instrumentos de gestión del cambio climático, sino también asegurar que las SbN implementadas se mantengan operativas, resilientes y beneficiosas a lo largo del tiempo. La creación de canales de comunicación efectivos entre los distintos actores involucrados es esencial para adaptar las soluciones implementadas a las dinámicas cambiantes del entorno y garantizar el éxito de las medidas a largo plazo.

5. Brechas, oportunidades y plan de acción para la incorporación de SbN en los servicios de infraestructura

El presente capítulo presenta el análisis de los avances, brechas y oportunidades para cada dirección del MOP en relación con sus metas de Estrategia de Cambio Climático y Planificación (ECLP). Además, se identifican las barreras para la implementación de Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) en las actividades y proyectos que desarrollan las direcciones, y se propone un Plan de Acción orientado a cerrar dichas brechas y superar las barreras identificadas. Este análisis se basó en la recopilación de información tanto secundaria como primaria.

5.1. Diagnóstico de brechas y oportunidades para el cumplimiento de las metas por dirección

En la Estrategia Climática de Largo Plazo se establecieron metas sectoriales que involucran a todos los ministerios a nivel nacional. Basándose en los objetivos y metas para el sector infraestructura, el MOP desglosó metas específicas y asignó compromisos a cada una de sus direcciones. Para evaluar el estado de avance de estas metas, se realizó un diagnóstico a través de un análisis de fuentes secundarias y entrevistas con actores clave de cada dirección. En total se realizaron seis entrevistas en las que se distribuyeron a la Dirección de Arquitectura, Dirección de Obras Hidráulicas¹⁵, Dirección General de Aguas, Dirección de Obras Portuarias, Dirección de Aeropuertos, Dirección de Vialidad y Dirección General de Concesiones. La síntesis de las entrevistas con los aportes de cada dirección se encuentra en el **Anexo 2** para un mayor detalle.

Los compromisos por dirección evaluados se encuentran descritos en la tabla a continuación.

Tabla 20. Compromisos por Dirección para el cumplimiento de la ECLP en materia de Soluciones Basadas en la Naturaleza

Servicio	Meta 2030	Meta 2050
Dirección General de Obras Públicas	Se generará un marco conceptual, preferentemente a través de un estudio (de contar con recursos financieros), que dé cuenta de los conceptos, aplicaciones y factibilidad de incorporar este tipo de soluciones en la ejecución de infraestructura que desarrolla el Ministerio de Obras Públicas.	Efectuar un análisis al 2030 respecto de los compromisos adquiridos por los Servicios MOP, y analizar factibilidad de incorporar mayor ambición al 2050 con otro tipo de soluciones basadas en la naturaleza, a las comprometidas al 2030. En función de la evaluación, se podrá ajustar o adecuar la meta al 2050

¹⁵ Debido a la variedad de proyectos que maneja la dirección se decidió separar las entrevistas entre su División de cauces y drenaje urbano, División de riego y en la Subdirección de Servicios Sanitarios Rurales.

Dirección de Obras Portuarias	El 50% de los proyectos emplazados en sectores naturales, que incorporen paisajismo, se realizarán utilizando especies endémicas.	El 100% de los proyectos que se emplacen en territorios naturales, que incorporen paisajismo, se realizarán utilizando especies endémicas.
Dirección General de Concesiones	<p>Actualización del Manual de Áreas Verdes para los proyectos y contratos concesionados implementando desde su diseño, los conceptos y aspectos medioambientales y territoriales, para la compatibilidad territorial y puesta en valor de la biodiversidad de cada región, comuna, para así conocer e incorporar especies nativas para la captación por ejemplo de contaminantes, mitigación del cambio climático, entre otros.</p> <p>Implementación de una mesa de trabajo interdirecciones MOP.</p> <p>Elaboración de pauta de diseño para obras concesionadas que promueva lineamientos MOP.</p>	El 100% de los contratos nuevos a licitar deberán incorporar en BALI, el Manual de Áreas verdes actualizado y la Pauta de diseño de edificaciones e infraestructura sustentable.
Dirección de Vialidad	<p>Desarrollar un Programa de Innovación Tecnológica que considere aspectos territoriales y Soluciones basadas en la Naturaleza para la construcción de Infraestructura Vial.</p> <p>El 30% de los estudios de Ingeniería incorporará el uso de especies nativas en sus proyectos de paisajismo.</p> <p>El Universo de Estudios que se considerarán para el cumplimiento de la meta será definido por la DV, durante el primer semestre de cada año.</p>	
Dirección de Obras Hidráulicas	Fomentar trabajo conjunto con MINVU, MIDSF y Cámara Chilena de la Construcción para desarrollar metodologías que permitan evaluar proyectos multipropósito que incorporen infraestructura hidráulica, áreas verdes y recreación (por ejemplo: parques inundables, parques fluviales, humedales artificiales, sectores de almacenamiento, bioretención e infiltración, etc.). Aprobar metodología.	Desarrollar proyectos multipropósito que incorporen infraestructura hidráulica, áreas verdes y recreación (por ejemplo: parques inundables, parques fluviales, humedales artificiales, sectores de almacenamiento, bioretención e infiltración, etc.), evaluados por la nueva metodología
Dirección de Arquitectura	Generar instancias colaborativas con organismos multisectoriales para la inclusión de criterios de infraestructura verde en proyectos de edificación pública, paisajismo y espacios públicos en los que tenga injerencia la Dirección de Arquitectura. Y contar con al menos un 20%	El 100% de los proyectos de edificación pública considera criterios de infraestructura verde.

	de iniciativas en etapa de pre factibilidad con este tipo de soluciones.	
Dirección de Aeropuertos	Incorporar en el MDA, capítulo de paisajismo para el desarrollo de infraestructura verde, café, azul (SbN) en complemento y/o reemplazo de infraestructura gris. Y en caso de ser factible, considerar la implementación de estas soluciones en al menos 20% en proyectos aeroportuarios.	Utilizar en el 100% de los Anteproyectos y Diseños de Área de Terminales y Refugios de Pequeños Aeródromos, el capítulo de Paisajismo para el desarrollo de infraestructura verde, café, azul (SbN) en complemento y/o reemplazo de infraestructura gris.

Fuente: tomado de MOP, 2024

Así, en base a la información secundaria recopilada y las entrevistas con las direcciones pertinentes se pudo identificar las brechas y oportunidades para el cumplimiento de los compromisos ECLP. De forma general, el avance de los compromisos establecidos por cada dirección varía. No obstante, las barreras que dificultan su cumplimiento son similares y pueden resumirse en las siguientes: **poco conocimiento de metas ECLP establecidas por Dirección, no existen alianzas específicas con organismos multisectoriales que permitan un trabajo conjunto para el desarrollo de metodologías con enfoque de las SbN y poco conocimiento en conceptos de SbN**. En este último punto, las iniciativas desarrolladas no fueron concebidas con el enfoque de SbN, no están alineadas a una metodología en específico, por lo que no hay certeza de que se esté cumpliendo con los criterios de las SbN y pueda considerarse una como tal.

Brechas y oportunidades Dirección de Vialidad (DV)

Avances

De forma general, los proyectos interurbanos y urbanos con solución paisajística contemplan, en diferente medida, la implementación de más del 30% de especies nativas, abordándose en ese sentido la segunda meta al 2030.

Brechas (B-DV)

Respecto a la primera meta de desarrollar un Programa de Innovación Tecnológica; sin embargo, existe una brecha en su cumplimiento, ya que no se tiene claro el propósito del objetivo fijado dificultando su realización.

Oportunidades

Si bien no se cuenta con un conocimiento claro de la determinación de las metas, esta es una oportunidad para detallarlas o alinearlas hacia lo que viene desarrollando la Dirección, como por ejemplo usar la actualización de sus planes para el desarrollo del programa de innovación y vincularlo a él.

Asimismo, la Dirección cuenta con el subdepartamento de Investigación y Calidad, donde el área de investigación y transferencia tecnológica se encarga de fomentar y coordinar la investigación y transferencia tecnológica relacionada con procedimientos, métodos y materiales en obras viales. Esta estructura brinda una oportunidad para desarrollar un Programa de Innovación Tecnológica orientado a la construcción de infraestructura vial que integre SbN (Dirección de Vialidad, s.f).

Adicionalmente, se han identificado iniciativas por parte de la dirección que han sido incorporadas en algunas Bases de Licitación de Estudios. Estas incluyen el requisito de considerar materiales reciclados o con menor impacto ambiental, así como criterios de eficiencia energética, entre otros (Construye2025, 2023). Estas iniciativas pueden complementar otras medidas de adaptación en las que se implementen las SbN.

Brechas y oportunidades Dirección de Obras Portuarias

Avances

La Dirección incorpora en los TDR y criterios internos exigencias en cuanto al tipo de especies empleadas en el desarrollo de proyectos. Asimismo, la Dirección realiza capacitaciones de paisajismo en todos sus proyectos. Abordándose, en ese sentido, la meta al 2030.

Brecha (B-DOP)

No existe una brecha significativa hacia el cumplimiento de las metas 2030 y 2050.

Oportunidades

Si bien se cubren las metas establecidas, es posible establecer indicadores que permitan visualizar el nivel de cumplimiento de las medidas implementadas. Estos indicadores deberían proporcionar información exacta sobre la proporción de proyectos ubicados en sectores naturales que cumplan con el uso de especies endémicas.

Brechas y Oportunidades Dirección de Aeropuertos

Avances

Hasta la fecha, no se ha actualizado el Manual de Desarrollo Aeroportuario (MDA), siendo la última la 2da versión del año 2011 (Dirección de Aeropuertos, 2011).

Brechas (B-DAP)

Como se mencionó previamente, la falta de actualización del MDA genera una brecha en el logro de las metas al 2030 y 2050, ya que ambas requieren integrar un capítulo sobre paisajismo que considere SbN y por tanto el desarrollo de proyectos que lo integren.

Oportunidades

La Dirección tiene la posibilidad de influir en los aspectos técnicos de los proyectos, asignando puntajes de acuerdo con sus criterios sostenibles. Posee experiencias en paisajismo que utilizan especies locales y trabaja en diversas áreas de sostenibilidad, como circularidad, manejo de residuos, uso eficiente del agua, y especificaciones técnicas para pavimentos sostenibles. Aunque no ha abordado las SbN de manera específica, planea incorporar este enfoque en el Plan Maestro del Aeropuerto de Santiago. Estos avances se están integrando al CES, donde en 2025 se obtendrán los primeros resultados que servirán de base para el capítulo de paisajismo.

El pasado 9 de mayo del 2024 la Dirección Regional de Aeropuertos, con la colaboración de la Cámara Chilena de la Construcción organizaron el primer congreso de infraestructura sustentable para la Región de Atacama. Durante este evento, se analizaron diversos proyectos clave, incluida la ampliación y mejora del Aeropuerto Desierto de Atacama, las obras fluviales en respuesta al cambio climático, la construcción de la doble vía Caldera-Antofagasta y el desarrollo del Parque Humedal Urbano en Chañaral (Cámara Chilena de la Construcción, s.f).

Este congreso, que reúne expertos y partes interesadas de diferentes ámbitos, fomenta el intercambio de conocimientos para brindar soluciones integrales. Se convierte así en un referente de colaboración entre diferentes actores con el cual se podría idear e implementar proyectos con un enfoque de SbN en la región.

Asimismo, como iniciativa de la dirección, se ha incorporado en algunas Bases Administrativas o TdR el requerimiento de considerar materiales reciclados, consideraciones de economía circular y/o cambio climático (Construye2025, 2023), los cuales pueden complementar los proyectos con SbN que se planteen.

Por tanto, la Dirección cuenta con suficientes experiencias e iniciativas que le ayudarán a cumplir con las metas relacionadas a la incorporación de paisajismo en el desarrollo de infraestructura con SbN con la posibilidad de implementarlos en sus proyectos aeroportuarios.

Brechas y Oportunidades Dirección de Arquitectura

Avances

Actualmente, no existen alianzas específicas con organismos multisectoriales más allá de colaboraciones con la Cámara Chilena de la Construcción y la academia para temas relacionados a la CES, mas no para incluir criterios relacionados con SbN.

Brechas (B-DA)

Existe una brecha significativa en el cumplimiento de las metas ECLP. Como se mencionó previamente, no existen alianzas específicas con organismos multisectoriales para incluir criterios relacionados con SbN y cumplir con la meta al 2030.

Por otro lado, la meta de incluir estos criterios en un 20% de iniciativas en la etapa de prefactibilidad se ve limitada debido a las competencias de la Dirección de Arquitectura, la cual solo tiene injerencia en los proyectos sectoriales (del MOP), que representan solo un 5% del total de proyectos. En los demás casos, los mandantes de las obras son los responsables de la prefactibilidad, mientras que la DA solo se encarga del diseño.

Oportunidades

El reconocimiento del MOP durante los premios del 2023 por la incorporación de la certificación voluntaria CES en la mayoría de sus licitaciones, donde la DA estuvo a cargo como unidad técnica de cinco de los edificios premiados (MOP Certificación sustentable, s.f.), refleja el compromiso del MOP, y de la Dirección, con el desarrollo de edificaciones sustentables, alineado con el enfoque de SbN.

Respecto a la segunda meta al 2030, si se establece como meta (a través de un PMG o un convenio de colaboración intersectorial) a todos los sectores que demanden edificaciones, se podría garantizar que los mandantes se vean obligados a incluir iniciativas con soluciones SbN. Por otro lado, si en la meta se especifica considerar únicamente los proyectos sectoriales en los que la Dirección tiene injerencia, esta meta podría ser cumplida en su totalidad.

Brechas y Oportunidades Dirección General de Concesiones

Avances

En junio del 2022 la Dirección General de Concesiones de Obras Públicas publicó el “Manual de Manejo de Áreas Verdes Sostenible para Proyectos y Obras Concesionadas”, actualizando la versión 2.01 del 2006. Este manual aborda los requerimientos ambientales para las etapas de proyecto, construcción y explotación de nuevas inversiones y relicitaciones de obras concesionadas. Proporciona los contenidos base que deben incluir los proyectos de paisajismo, los cuales deben implementar medidas concretas para mitigar y adaptarse a los efectos del cambio climático, considerando las características del territorio y su biodiversidad (DGC, 2022).

En el año 2023 se conformó una mesa de trabajo con la Dirección de Arquitectura y CES, con el objeto de incluir en las Bases de Licitación la certificación de edificios sustentable. Dando como resultado el avance en la incorporación de la certificación en un proyecto piloto, con el apoyo del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), para la obtención de financiamiento verde.

Brechas (B-DGC)

En base a las acciones mencionadas, se puede indicar que las metas al 2030 están próximas a ser abordadas completamente, solo estando pendiente el desarrollo de una “Pauta de diseño de edificaciones e infraestructura sustentable”, de la cual se cuenta con iniciativas, incrementando las posibilidades de cumplir las metas al 2030 en un 100%. A su vez, esto facilitará el cumplimiento de las metas para 2050, que exigen la incorporación de estos instrumentos en las Bases de Licitación.

Oportunidades

Por su parte, la Dirección contempla la construcción de pasos de fauna silvestre como medida ambiental para el fraccionamiento del hábitat en el estudio integral del proyecto vial denominado Ruta 5 Tramo: Chonchi – Quellón. Este proyecto permitirá reducir el efecto barrera y evitar la mortalidad de la fauna silvestre en infraestructuras lineales de transporte, constituyendo una referencia futura para la elaboración de medidas y evaluación de impactos ambientales. De esta manera, se abordan aspectos adicionales a los contemplados en su meta.

Brechas y Oportunidades Dirección de Obras Hidráulicas

Avances

No se identificaron iniciativas de alianzas con otras organizaciones ni ministerios (MINVU, CChC) que permitan una futura cooperación para desarrollar metodologías vinculadas a la evaluación de

proyectos con enfoque en infraestructura verde. Siendo la única institución con la que se mantiene una sólida colaboración el MDSyF para la aprobación de proyectos.

Brechas (B-DOH)

Existe una brecha significativa en el cumplimiento de las metas debido a la falta o escasa información sobre la ECLP y sus objetivos. Esto ha generado una falta de coordinación interinstitucional con las entidades mencionadas, así como con otras instituciones transversales clave. En consecuencia, ha habido poco avance en el desarrollo de metodologías, marcos regulatorios, y en la evaluación de proyectos, entre otros aspectos.

Oportunidades

Si bien no se ha desarrollado metodologías relacionadas a infraestructura sostenible existen experiencias (como los parques inundables Kaukari, Victor Jara) y proyectos piloto (como el tratamiento de aguas residuales con lombrifiltros, humedales) realizados por la Dirección con apoyo del Banco Mundial, BID, Fundación Chile, entre otros, cuya experiencia metodológica pueden servir como insumo para desarrollar una metodología propia de evaluación de proyectos multipropósito.

A nivel de colaboración, existen antecedentes de diálogo entre el MOP y la Cámara Chilena de la Construcción para formar alianzas con el fin de reconstruir zonas afectadas por catástrofes climáticas (Diario La Prensa, s.f). En ese sentido, existe la oportunidad de desarrollar en conjunto una metodología que permita evaluar proyectos que incorporen infraestructura hidráulica con áreas verdes como un enfoque adaptativo al cambio climático, entre otros.

Brechas y Oportunidades Dirección General de Obras Públicas

Avances

La Dirección General de Obras Públicas (DGOP) a través de la "Licitación para la actualización del Plan de Adaptación y Mitigación de los Servicios de Infraestructura al Cambio Climático 2017-2022, centrada en el análisis de la aplicabilidad de Soluciones basadas en la Naturaleza para las Obras Públicas del MOP" publicada el 29 de septiembre de 2023, y abordada en la presente consultoría, establece como uno de sus objetivos la elaboración de un marco conceptual para el ámbito de acción del MOP en materia de SbN. Este marco conceptual desarrolla conceptos y aplicaciones basados en las competencias específicas de cada dirección del MOP, abordando en ese sentido la meta al 2030 de la DGOP.

Asimismo, como parte de la consultoría se está analizando el avance en los compromisos para cada servicio del MOP en línea con la meta establecida para el año 2050.

Brechas (B-DGOP)

Con el desarrollo de la consultoría se estarían abordando las metas estipuladas por la Dirección, por lo que no se identifican brechas hacia el cumplimiento de las metas 2030 y 2050.

Oportunidades

Como resultado de la presente consultoría, la Dirección tendrá la oportunidad de evaluar la incorporación de metas más ambiciosas para el 2050, según el avance observado. Por lo tanto, se

puede concluir que las acciones desarrolladas por la Dirección están encaminadas hacia el logro de sus metas.

Experiencias e iniciativas de direcciones del MOP relacionadas a SbN

A partir de las entrevistas, se identificó que, aunque las direcciones del MOP no contaban con lineamientos ni conocimientos específicos sobre el concepto de Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN), se han llevado a cabo experiencias en las que se ha implementado este enfoque. En la Tabla a continuación, se detallan dichas experiencias.

Tabla 21. Experiencias e iniciativas de direcciones del MOP relacionadas a Soluciones basadas en la Naturaleza

Dirección	Experiencias / Iniciativas
Dirección de Aeropuertos	<ul style="list-style-type: none"> ● Parque Humedal Urbano en Chañaral
Dirección General de Concesiones	<ul style="list-style-type: none"> ● Construcción de pasos de fauna silvestre como medida ambiental para el fraccionamiento del hábitat en el estudio integral del proyecto vial “Ruta 5 Tramo: Chonchi – Quellón”. ● Proyecto túnel San Cristóbal empleó medida de revegetación en taludes.
Dirección de Arquitectura	<ul style="list-style-type: none"> ● Experiencia en el uso de la energía geotérmica en el PDI Puerto Montt. ● Experiencias de integración de elementos naturales (agua) en infraestructura como El Palacio de la Moneda y el Centro de Justicia de Chile.
Dirección de Obras Hidráulicas	<ul style="list-style-type: none"> ● Parque inundable Kaukari ● Parque inundable Víctor Jara. ● Proyectos piloto sobre saneamiento rural con el tratamiento de aguas residuales con lombrifiltros, humedales, realizados con apoyo del Banco Mundial, BID, Fundación Chile

Fuente: Elaboración propia

5.2. Barreras en la implementación de las SbN

Además de realizar una evaluación de los avances en cuanto al cumplimiento de los compromisos por dirección se analizaron las barreras que existen para la incorporación de las SbN en los servicios proporcionados por el MOP.

Como se mencionó previamente, se realizaron seis entrevistas entre las que se distribuyeron siete direcciones del MOP.

De manera general, se pudo identificar que casi todas las direcciones comparten las mismas dificultades al momento de implementar las SbN. Las cuales están relacionadas a limitantes normativos, escaso conocimiento sobre el tema, falta de colaboración con actores clave, escasez de recursos técnicos y económicos, entre otros más particulares para cada dirección.

Las barreras identificadas y sus factores condicionantes se sistematizaron, agruparon y priorizaron como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 22. Barreras y sus factores condicionantes para la implementación de SbN

Barreras	Factores
B1. Desconocimiento de las SbN y su aplicación a los servicios del MOP	<ul style="list-style-type: none"> No existe un conocimiento claro de las SbN en general y como se puedan aplicar en las obras. Existen “infraestructuras de sacrificio” que son menos invasivas, que no están siendo consideradas, ya que se tiene una visión de que la infraestructura debe tener una vida útil de largo plazo. Las BALL no incluyen requerimientos de incorporar SbN, por lo que los consultores tienden a proponer ideas convencionales en los proyectos.
B2. Falta de innovación para la solución de problemáticas que incorpore las SbN	
B3. Falta de lineamientos que orienten la implementación de SbN	<ul style="list-style-type: none"> Nula incorporación de enfoques de SbN en el Manual de Carreteras. Falta de manual o guías para la ejecución y monitoreo de proyectos de SbN. Los fuertes oleajes de las costas chilenas limitan la materialización de las SbN más comunes. Las experiencias relacionadas a SbN desarrolladas por el MOP hasta el momento no provienen de una planificación como tal, sino que se desarrollan por iniciativa propia.
B4. Dificultad para dar mantenimiento y monitorear las obras públicas que incorporan proyectos de SbN	<ul style="list-style-type: none"> En los casos de las obras ejecutadas por la DA y la DAP los mandantes no realizan el riego de áreas verdes de fachadas y techos debido a los costos adicionales que implican, por lo que no perduran en el tiempo. Una vez concluido el proyecto la DA no tiene mucha incidencia, por lo que no se realiza un monitoreo o medición de parámetros para evaluar los beneficios generados por la obra.
B5. Pocos datos y estudios previos para la implementación de SbN	<ul style="list-style-type: none"> En obras portuarias no se cuenta con una evaluación de materialidad de elementos naturales, para saber si cumplen con los requisitos mínimos de seguridad, resistencia que tiene que brindar, no hay base de datos de oleajes, estudios de fondo marino, etc.
B6. Recursos humanos técnicos limitados en los equipos para el desarrollo de proyectos SbN	<ul style="list-style-type: none"> No existe personal especializado en SbN en la mayoría de las direcciones del MOP.
B7. Falta de métricas de ahorro o beneficio de medidas de SbN para que sean consideradas por el MDSyF	<ul style="list-style-type: none"> En aeropuertos el MDSyF solo considera beneficios cuantificados en número de pasajeros transportados. Las licitaciones, no se otorga un puntaje para los beneficios asociados a las SbN. El MDSyF emplea una metodología de evaluación de proyectos donde no se cuantifica el beneficio que entrega una SbN y se prioriza la infraestructura gris
B8. Baja coordinación intra e	<ul style="list-style-type: none"> No se identificaron alianzas con otras instituciones para abordar las

<i>interinstitucional para la incorporación de las SbN en los servicios de infraestructura que tienen competencias compartidas</i>	<p>SbN de forma específica.</p> <ul style="list-style-type: none"> La DA no ha tenido respuesta por parte del MINVU para desarrollar una alianza relacionada al manejo de la fachada de los edificios y el área circundante.
<i>B9. Presupuesto limitado para el desarrollo de proyectos SbN</i>	<ul style="list-style-type: none"> El MDSyF no asigna presupuesto para proyectos con SbN por lo que solo se pueden desarrollar proyectos pilotos, iniciativas como el proyecto "motor de arena" en la DOP es muy costoso.
<i>B10. Diseños preestablecidos para ciertas infraestructuras limitan la aplicación de SbN</i>	<ul style="list-style-type: none"> CONAF establece requisitos específicos para las pistas de aterrizaje, hangares, áreas de estacionamiento, entre otros, como infraestructura requerida por las aeronaves de combate en cuanto al manejo de incendios forestales.
<i>B11. Normativa actual limita el ámbito de acción de las instituciones vinculadas en la implementación de SbN</i>	<ul style="list-style-type: none"> El área jurídica de concesiones trabaja con estándares rígidos, lo que impide introducir nuevos requerimientos. Por ejemplo, tomó cerca de 3 años implementar medidas sustentables como un programa de gestión de huellas de carbono. Exigencia de calidad de agua en normativa limita el uso de agua tratada en riego de áreas verdes de aeropuertos. Normativa de riego es muy concreta y específica, no permite el desarrollo de obras complementarias como revegetación y conservación del suelo, recargas de acuíferos, etc. Intereses particulares de regantes con derechos de agua privatizados limitan la intervención integral en los canales. Las competencias de la DA están circunscritas en el área del proyecto, por lo que no puede intervenir con una SbN en el manejo del espacio público. Los roles de instituciones vinculadas al desarrollo de proyectos con SbN no están claramente definidos.
<i>B12. Periodo corto de evaluación previo a la implementación del proyecto</i>	<ul style="list-style-type: none"> En la DV, el periodo de evaluación de proyectos no toma en cuenta las características específicas de las SbN, que a menudo requieren estudios prolongados para una correcta implementación, incluyendo monitoreos y seguimientos en el área del proyecto, los cuales pueden durar varios años.
<i>B13. Resultados poco exitosos en la aplicación previa de proyectos de SbN</i>	<ul style="list-style-type: none"> En el proyecto túnel San Cristóbal de DGC no se consideró principios sustentables en el desarrollo del proyecto, como especies vegetales acordes a las condiciones geográficas de la zona, por lo cual la vegetación instalada no perduró y se terminó reemplazando con celosía el área verde. Las fachadas verdes terminan secándose debido a que no se le realizan mantenimientos.
<i>B14. Incompatibilidad entre los requerimientos arquitectónicos de mandantes y la aplicación de diseño pasivo</i>	<ul style="list-style-type: none"> La DA, por ejemplo, suele recibir la solicitud de usar vidrios en fachadas por parte de sus mandantes, lo que impide considerar la aplicación de otro tipo de diseños basados en la naturaleza que sean funcionales y sostenibles a la vez.
<i>B15. Lineamientos de TdR no</i>	<ul style="list-style-type: none"> Desde el 2012, los términos de referencia contienen lineamientos de

<i>consideran los enfoques de SbN para el desarrollo de proyectos</i>	confort ambiental, eficiencia energética que han servido como base incluso de la CES, por lo que se tendrían que actualizar por unos que incorporen los criterios y enfoques de las SbN.
<i>B16. Poco conocimiento de metas ECLP establecidas por dirección</i>	<ul style="list-style-type: none"> Existe un desconocimiento generalizado de las metas ECLP en la mayoría de las direcciones, lo que ha llevado a un avance parcial o casi nulo en algunas direcciones.

Fuente: Elaboración propia

5.3. Plan de acción para el cierre de brechas para la incorporación de SbN en los servicios de infraestructura

El presente capítulo presenta un plan de acción para cerrar las brechas y barreras identificadas presentadas en el capítulo 2. Este plan de acción ha sido construido a través de un taller realizado el día 10 de junio en el que participaron en total 31 representantes, entre direcciones del MOP, ministerios transversales como MINVU, MINAGRI, MTT e instituciones como SENAPRED.

En este taller, se plantearon medidas, acciones concretas, actores involucrados y plazos tentativos para sobrellevar las barreras previamente identificadas en las entrevistas sobre la implementación de las SbN en el MOP y el cumplimiento de sus metas por dirección. La metodología empleada, así como el desarrollo y resultados del taller se encuentran en el **Anexo 3**. Posteriormente, el equipo consultor realizó un análisis crítico de la información recopilada, integró el trabajo de los diferentes grupos de actores y como resultado de ello se desarrolló el plan de acción contenido en este capítulo.

Es importante mencionar que, de manera transversal a las medidas presentadas a continuación, se plantea que el Plan de Acción considere los siguientes ejes que debieran estar ser tomados en cuenta al momento de su aplicación.

Figura 15. Ejes transversales al Plan de Acción



Fuente: Elaboración propia

El **enfoque de igualdad de género** implica analizar y promover cambios en las desigualdades de condiciones, roles y posición entre hombres y mujeres, considerando la justicia y equidad en políticas públicas y buenas prácticas (MIDEPLAN y ONU Mujeres, 2017). Es fundamental que una sociedad desarrollada reconozca a hombres y mujeres como sujetos de derechos y obligaciones en igualdad de condiciones, respetando sus diferencias (Género y Participación Ciudadana Subsecretaría del Interior y Seguridad Pública, s.f.). En este sentido, para los fines de este Plan, es necesario integrar este enfoque igualitario tanto en la conformación de los equipos multidisciplinarios encargados de desarrollar SbN como en la participación de la población durante el diseño y ejecución de los proyectos.

El concepto de **inter-institucionalidad** hace referencia a la coordinación y colaboración entre diferentes instituciones mediante acciones conjuntas en proyectos compartidos. Facilita la integración de objetivos diversos, a veces contrapuestos, permitiendo al país competir globalmente y representando una alternativa relacional frente a los modelos tradicionales de organización y desarrollo (Rosales, 2017). Durante la implementación del Plan, en aquellas medidas que requieran colaboración entre instituciones, es crucial que dicha cooperación sea ágil para garantizar su efectividad.

La **participación ciudadana**, definida como el “involucramiento activo de personas, grupos y comunidades en los procesos de toma de decisiones que inciden en ellos” [63] constituye un elemento fundamental en el Plan, ya que está alineado con criterios sociales y de inclusión considerados para el desarrollo de cualquier SbN. Esto implica que la población esté involucrada a lo largo de todo el ciclo de vida del proyecto, desde su diseño inicial hasta su fase de mantenimiento.

Teniendo en cuenta estos tres ejes transversales del Plan se plantearon medidas y acciones específicas a desarrollar para los diferentes actores identificados que fueron divididos en dos categorías: internos, que incluyen las direcciones del MOP, y externos, que abarcan otros ministerios, instituciones y la academia. Los plazos de implementación se clasifican en corto (1 a 2 años), mediano (3 a 5 años) y largo plazo (6 a 10 años).

Tabla 23. Medidas del plan de acción para la implementación de SbN en proyectos del MOP

Medidas Generales	Descripción de la Medida	Acciones Específicas	Actor interno	Actor Externo	Plazo	Brecha/ Barrera
Sensibilización en torno a la aplicabilidad de las SbN	Desarrollo de iniciativas y esfuerzos destinados a aumentar la educación ambiental respecto al conocimiento y comprensión sobre cómo las SbN pueden ser implementadas por parte de las autoridades.	<ul style="list-style-type: none"> ❖ <u>Difusión de conceptos y criterios vinculados a las SbN</u>, a través de gráficas simples, medios de comunicación para la comunidad e instituciones competentes en su desarrollo como la CChC. ❖ <u>Campaña de sensibilización en SbN</u> en los procesos participativos de los proyectos. 	DGOP y direcciones ejecutoras	CChC, Academia	Corto	B1
Transferencia de conocimientos en SbN	La transferencia de conocimientos es fundamental para fortalecer capacidades y optimizar los recursos existentes, evitando gastos adicionales innecesarios sobre los avances ya logrados.	<ul style="list-style-type: none"> ❖ <u>Fomentar la asociación público-privada-academia</u> para el intercambio de conocimientos sobre SbN ❖ <u>Intercambio de experiencias con SbN</u> ya sea en conferencias, plataformas en línea. 	MOP	Sector privado, Academia	Corto	B1
Fortalecimiento del capital humano en materia de SbN y su aplicabilidad a los servicios de infraestructura y edificación	Un mayor conocimiento en las tipologías de SbN que aborden amenazas a las que está sujeta las obras que desarrolla cada dirección podrá fomentar su empleo en contraposición de las soluciones comúnmente implementadas. Siendo necesario instruir a las direcciones progresivamente.	<ul style="list-style-type: none"> ❖ <u>Elaborar un programa de capacitación</u> sobre las SbN enfocadas a cada dirección del MOP. 	DGOP	Academia, SENAPRED, MMA	Corto	B1, B2, B6
Cooperación entre instituciones durante el diseño y la ejecución de los proyectos	Aprovechar que se cuenta con personas capacitadas en SbN, presentes en instituciones académicas, para suplir las deficiencias existentes en las direcciones del	<ul style="list-style-type: none"> ❖ <u>Alianzas con la academia</u> para contar con especialistas locales en SbN. 	DGOP	Academia	Mediano	B6

	MOP.					
Optimización de recursos disponibles	Ante la limitación de recursos adicionales, es crucial aprovechar plenamente los recursos disponibles, pero que no han sido explorados en su totalidad.	❖ <u>Explorar plataformas existentes</u> que apoyen en la implementación de SbN, como los Sistemas de alerta temprana, ARCLim, plataformas de SbN internacionales, entre otros.	MOP	SENAPRE D, MMA	Corto	B6
Inclusión de nuevas métricas en la evaluación de proyectos	Las métricas comunes no consideran los beneficios adicionales que generan las SbN en materia de resiliencia al territorio, reducción de riesgos a largo plazo y en el bienestar social.	❖ <u>Nueva metodología que incorpore puntaje adicional a infraestructuras que no generen nuevos riesgos</u> , como las SbN, en la evaluación de proyectos por parte del MDSyF ❖ <u>Mesa de trabajo con el MDSyF</u> para abordar la temática de SbN.	DGOP, DIRPLAN	SENAPRE D, MDSyF	Corto	B7
Implementar proyectos piloto para generar información previa sobre contexto chileno para determinar aplicabilidad de SbN según características específicas.	Los proyectos piloto permiten comprender el desempeño de medidas a escala real y reducir el riesgo en la implementación de soluciones de infraestructura de protección territorial. Los estudios sobre la materialidad de elementos naturales y las características del territorio chileno son cruciales para mejorar las infraestructuras y edificaciones basadas en la naturaleza.	❖ <u>Generar alianza con la academia para el desarrollo de proyectos piloto</u> en temas prioritarios para el MOP, las SbN. ❖ <u>Coordinar con el MDSyF para poder financiar los proyectos piloto</u> de la academia ❖ <u>Orientar estudios de la academia hacia la proposición de soluciones concretas.</u>	DGOP, DIRPLAN	Academia Sector privado MDSyF	Mediano	B5, B12
Implementación adecuada de criterios y enfoques de las SbN desde la fase de diseño del proyecto de infraestructura y	Las experiencias previas no lograron los resultados esperados porque no se consideraron aspectos de sostenibilidad en su implementación. A medida que se incorporen estos criterios desde una etapa	❖ <u>Incorporación de personal capacitado en SbN</u> en los equipos de formulación de proyectos.	MOP	-	Mediano	B13, B4

edificaciones.	temprana, se reducirá la necesidad de mantenimiento.					
Acompañamiento y evaluación de proyectos SbN durante su desarrollo	El monitoreo periódico de los proyectos permite identificar problemas de manera temprana, facilitando y reduciendo a su vez el mantenimiento de la obra	❖ <u>Gestionar la post evaluación de los recursos hídricos en proyectos</u> para evaluar indicadores de desempeño	DGA		Largo	B4
Elaboración de instrumentos para la implementación y seguimiento de proyectos con SbN	El desarrollo de una guía facilita una correcta implementación y monitoreo de las SbN	❖ <u>Desarrollo de un manual de implementación de SbN en las obras del MOP</u> , que integre acciones para su correcta implementación y monitoreo	MOP	MDSyF, MINVU	Corto	B3
Coordinación intersectorial y entre direcciones del MOP para incorporar las SbN en los servicios de Infraestructura y Edificación.	La cooperación con instituciones y direcciones del MOP que intervienen en la implementación de SbN reduce la burocracia y acelera su desarrollo.	❖ <u>Coordinación con otros planes estratégicos</u> (Estrategia Nacional de Infraestructura, Plan Director de Servicios de Infraestructura, Plan de Construcción Sustentable, Planes Sectoriales de Cambio Climático)	DGOP	MINVU, MMA, SENAPRED, CChC	Mediano	B8
Promoción de incentivos para la implementación de SbN	Desarrollar mecanismos que promuevan la participación de distintas instituciones en su desarrollo.	❖ <u>Incorporar en la certificación CES las SbN</u> , aprovechando un instrumento disponible y que se viene implementando en la actualidad.	DA, DGC, DGOP,	MINVU, CChC	Mediano	B9
Inclusión de un presupuesto asignado a proyectos con SbN	Contar con financiamiento enfocado en desarrollar obras con SbN promueve su desarrollo.	❖ <u>Proyecto de ley de presupuestos</u> del sector público con inclusión del desarrollo de proyectos piloto en SbN.	MOP, DIRPLAN	DIPRES	Mediano	B9
Promoción de equipos	Los equipos multidisciplinarios permiten	❖ <u>Equipos de trabajo</u>	MOP	-	Mediano	B10

multidisciplinarios para impulsar soluciones innovadoras.	tener un enfoque más amplio de las soluciones a proponer cumpliendo los requerimientos establecidos, pero integrando soluciones innovadoras	<u>multidisciplinario para la proposición de soluciones que integren principios de SbN</u> sin comprometer los estándares de diseño y seguridad.				
Modificación de la normativa de manera que admita la aplicación de SbN en los servicios de infraestructura y edificación	La normativa define en primera instancia el ámbito de acción de las direcciones que conforman el MOP y determina el tipo de proyectos a desarrollar, por lo que es necesario incluir en ella los criterios de las SbN y las exigencias para su incorporación. Asimismo, es crucial que las normas que se propongan lleguen a un nivel institucional, desarrollándose en reglamentos, unidades, y otros mecanismos institucionales.	<ul style="list-style-type: none"> ❖ <u>Actualización del DFL N°850</u> respecto a las atribuciones que le competen a cada dirección. ❖ <u>Modificación de las Normas, Instrucciones y Procedimientos (NIP)</u> del sector público que permita la implementación de proyectos piloto con SbN y su integración en los productos estratégicos del MOP. 	DIRPLAN, Fiscalía, MOP	MDSyF	Mediano	B11
Cooperación con instituciones de competencias transversales para superar las limitaciones particulares de cada dirección.	Ante las limitaciones en el ámbito de acción de unas direcciones la cooperación entre instituciones con competencias más amplias ayuda en la implementación de SbN.	❖ <u>Generar asociaciones con instituciones de competencias transversales (MINVU, MTT)</u> de forma que se puedan desarrollar proyectos con SbN de forma integral	Fiscalía, MOP	MINVU, MTT, Municipalidades	Mediano	B11, B15
Integración de criterios de SbN en los TdR para el desarrollo de proyectos	La integración de medidas con SbN desde los lineamientos de aprobación de proyectos facilita su desarrollo.	❖ <u>Actualización de los TdR con enfoques de SbN</u> , como tipologías de infraestructura verde, azul, marrón y diseño arquitectónico pasivos.	Fiscalía MOP		Mediano	B15
Sensibilización en torno a los criterios y enfoques de sostenibilidad de las SbN	Los mandantes no conocen los beneficios que pueden generar las obras con criterios y enfoques de sostenibilidad.	❖ <u>Difusión de beneficios económicos</u> de diseños pasivos en proyectos SbN a mandantes	DGOP	MDSyF	Largo	B14

		❖ <u>Organización de talleres y seminarios para educar a los mandantes</u> sobre los beneficios de los diseños pasivos, incluyendo ahorro energético, confort térmico y sostenibilidad a largo plazo				
Implementación de incentivos en la aplicación de diseño pasivo en edificaciones	Desarrollar mecanismos que promuevan la participación de distintas instituciones en su desarrollo.	❖ <u>Inclusión de criterios de diseño pasivo en la CES</u> aprovechando un instrumento disponible y que se viene implementando en la actualidad.	DA	ASE, MINVU, CChC	Mediano	B14
Difusión periódica de metas ECLP por dirección	El poco conocimiento de las metas que deben cumplir las direcciones dificulta que desarrollen medidas y acciones para su avance.	❖ <u>Programa de difusión periódica de las metas por dirección</u> a los equipos de planeamiento y ejecución de las direcciones	DGOP	-	Corto	B16
Desarrollar un Programa de Innovación Tecnológica que considere aspectos territoriales y SbN			DV		Corto	B-DV
Actualizar el Manual de Desarrollo Aeroportuario que integre un capítulo de paisajismo para el desarrollo de SbN			DAP		Mediano	B-DAP
Generar instancias colaborativas con organismos multisectoriales para la inclusión de criterios de infraestructura verde en proyectos.			DA		Mediano	B-DA
Elaborar una Pauta de diseño de edificaciones e infraestructura sustentable.			DGC		Corto	B-DGC
Desarrollar metodología en conjunto con MINVU, MDSyF y CChC que permita evaluar proyectos que incorporen infraestructura verde.			DOH		Mediano	B-DOH

El Plan de Acción implica acciones específicas que requieren del compromiso de cada actor identificado, pero también la colaboración de todas las direcciones que conforman el MOP. En primer lugar, la DGOP que dirige el desarrollo de obras de infraestructura y edificaciones, y lidera la presente consultoría. Asimismo, direcciones como el DIRPLAN son claves para la planificación y proposición de iniciativas con enfoque en las SbN que puedan desarrollar las direcciones ejecutoras.

Las instituciones externas al MOP que tienen una implicancia determinante en la implementación de obras con SbN son el MDSyF, el MINVU y las municipalidades. El MDSyF, al ser responsable de la aprobación de gran parte de los proyectos desarrollados por el MOP, es crucial para que este tipo de obras se lleven a cabo. El MINVU interviene en el desarrollo de proyectos integrados con su entorno inmediato. Este aspecto es principalmente relevante considerando uno de los criterios de las SbN que se refiere a la integración con los ecosistemas, mejorando su funcionalidad y conectividad.

La Academia es otro actor importante para el avance hacia la implementación de SbN debido a su aporte de información científica necesaria para el desarrollo de obras con nuevas tecnologías. Además, su contribución fortalece la gestión adaptativa de las SbN basándose en los datos generados de su implementación, facilitando el aprendizaje continuo de los procesos sistémicos y la adaptación de las SbN a los cambios en los sistemas.

6. Metodología de Evaluación de proyectos SbN

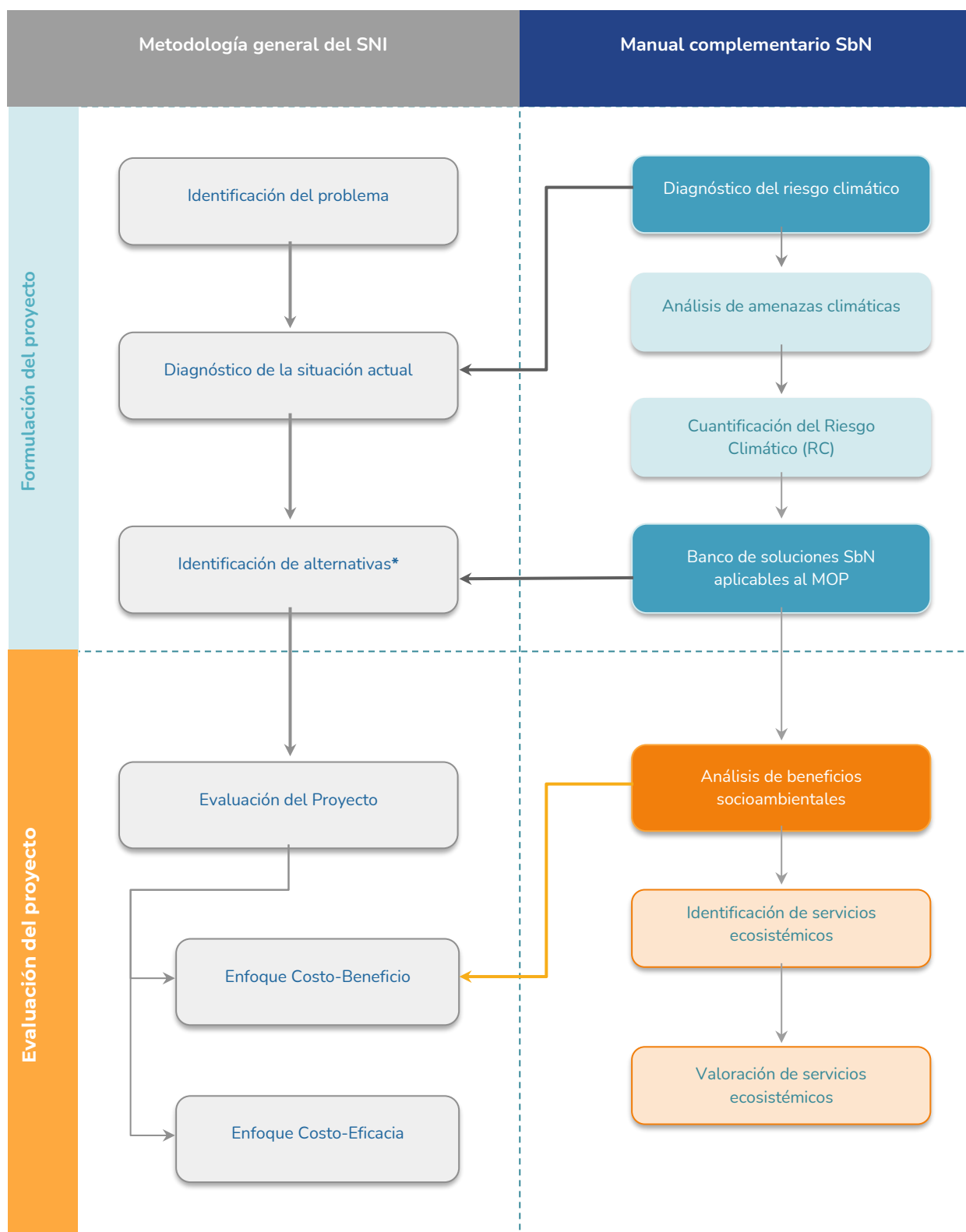
En este capítulo se presenta una propuesta metodológica orientada a la formulación y evaluación de proyectos de Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN). El objetivo de esta es aumentar la comprensión en el ámbito de evaluación del riesgo climático en proyectos de inversión pública. Esta metodología se enfoca en profundizar el análisis de alternativas de proyectos SbN, integrando a la evaluación los beneficios por los servicios ecosistémicos asociados a este tipo de proyectos, especialmente para aquellos servicios ecosistémicos alineados a las competencias y compromisos asumidos por el MOP para la adaptación y mitigación ante los efectos del cambio climático. A través de este enfoque, se busca promover la inclusión de los co-beneficios socioambientales y la gestión de riesgos climáticos en la toma de decisiones sobre la viabilidad de los proyectos del MOP.

En la fase de formulación de proyectos—que incluye la identificación del problema, el diagnóstico de la situación actual y la generación de alternativas—se recomienda fortalecer el diagnóstico convencional con un enfoque que permita identificar amenazas y riesgos climáticos específicos. Este enfoque debe ser capaz de integrar alternativas de solución basadas en SbN. Para la identificación de dichas alternativas, se sugiere utilizar como marco de referencia el "Banco de Soluciones Basadas en la Naturaleza" desarrollado en esta consultoría (Sección 4.3.3).

Durante la fase de evaluación, se han revisado y mapeado las metodologías de análisis costo-beneficio empleadas en diversos manuales del Sistema Nacional de Inversiones (SNI), con el fin de identificar los beneficios socioambientales de interés que ya cuenten con una metodología referencial para su valoración. De igual manera, se propone el uso de una metodología basada en indicadores que complemente el análisis de los servicios ecosistémicos aún no considerados en los manuales existentes o para los casos en los cuales se carece de la información específica que estas metodologías solicitan.

La propuesta debe aplicarse de manera complementaria al análisis técnico-económico tradicionalmente utilizado en proyectos desarrollados por el MOP. En ese sentido, la figura presentada a continuación muestra en la primera columna el flujo normal para la evaluación de proyectos bajo el SNI, mientras que la segunda columna muestra los pasos de evaluación adicionales y complementarios que se sugieren para fomentar que las SbN y sus beneficios sean considerados como parte de la evaluación.

Figura 16. Metodología para la formulación y evaluación de proyectos SbN



Fuente: Elaboración Propia.

6.1. Formulación del Proyecto

Tiene por objetivo la recopilación y análisis de los antecedentes e información que permitan justificar la ejecución del proyecto SbN. En esta etapa se abordan tres aspectos: identificación del problema, diagnóstico de la situación actual y proyectada e identificación de alternativas de solución.

6.1.1. Identificación del Problema

El problema debe ser formulado como un estado negativo que afecta a una población o servicio específico, en lugar de presentarse como la ausencia de una solución. Aunque pueden identificarse múltiples problemas en la situación analizada, es fundamental centrarse en el problema principal, estableciendo claramente las causas que lo generan y los efectos que desencadena. Por tanto, un proyecto tiene como objetivo satisfacer o atender una determinada demanda o dar solución a un problema que se ha detectado en una zona identificada.

En esta etapa, se pueden analizar antecedentes mediante la revisión de estudios existentes sobre la situación actual, la identificación de intervenciones previas que no fueron exitosas, la aplicación de cuestionarios y/o entrevistas a los afectados o a las autoridades pertinentes, y la consulta a expertos.

La identificación del problema debe culminar con una definición clara y literal del mismo. Además, es necesario identificar las variables incluidas en esta definición, precisando qué se entiende por cada una de ellas, así como las dimensiones y magnitudes relacionadas. Esto asegurará que el problema sea comprendido de manera uniforme por todos los actores involucrados.

Caso Práctico N° 1. Sistema de Evacuación de Aguas Lluvia.

Nombre del Proyecto: “Factibilidad e Ingeniería de Detalle Sistema de Evacuación de Aguas Lluvias Cajón San Francisco, Comuna de Puerto Varas, Región de Los Lagos”

Ubicación: Comuna de Puerto Varas, Región de Los Lagos

Dirección Competente: Dirección de Obras Hidráulicas

Descripción del proyecto: El sistema San Francisco está compuesto por la quebrada cabecera y por el Cajón San Francisco que descarga en el Lago Llanquihue. Esta estructura se ubica en la calle San Francisco y Del Salvador. Su estado es regular, con algunas deficiencias estructurales y falta de capacidad hidráulica. En la **Figura 17** se muestra el emplazamiento del sistema San Francisco.

Identificación del problema. El cajón presenta daños en su interior que comprometen la resistencia, funcionalidad y durabilidad de la estructura, causando un déficit de capacidad de infiltración y retención hídrica del cajón.

Causa del problema: Puerto Varas es la segunda ciudad en importancia a nivel regional y es quizás un símbolo del explosivo crecimiento demográfico ocurrido en las últimas décadas y que se ha visto intensificado con la pandemia. El crecimiento demográfico llevó aparejado el aumento de los problemas de drenaje de la ciudad de Puerto Varas.

Efectos del problema: Anegación de la infraestructura debido a inundaciones de la zona céntrica de Puerto Varas, ubicada en la Región de Los Lagos.

Figura 17. Emplazamiento del Sistema San Francisco



Caso Práctico N° 2. Infraestructura portuaria

Nombre del Proyecto: "Construcción infraestructura portuaria costanera de puerto Octay"

Ubicación: Comuna de Puerto Octay, Provincia de Osorno, Región de Los Lagos

Dirección Competente: Dirección de Obras Portuarias

Descripción del proyecto: El proyecto tiene como objetivo recuperar la interacción histórica de la ciudad con el Lago Llanquihue, integrando el espacio público a actividades de esparcimiento. Contempla la construcción de un edificio de servicios de 197 m², dos miradores (uno denominado "Humedal" de 280 m² y otro llamado "Muelle Chile" de 51 m²), un anfiteatro de 597 m², una zona con 4 máquinas de ejercicios y otra con 9 juegos infantiles. Estas instalaciones se disponen en áreas verdes que abarcan 5,990 m², conectadas por 1,623 m² de deck de madera y 1,415 m² de pavimentos de hormigón, respetando y mejorando el humedal existente.

Identificación del problema. La deficiente calidad del espacio público en aspectos de seguridad física de los usuarios, deterioro medio ambiental y del estado de los elementos patrimoniales

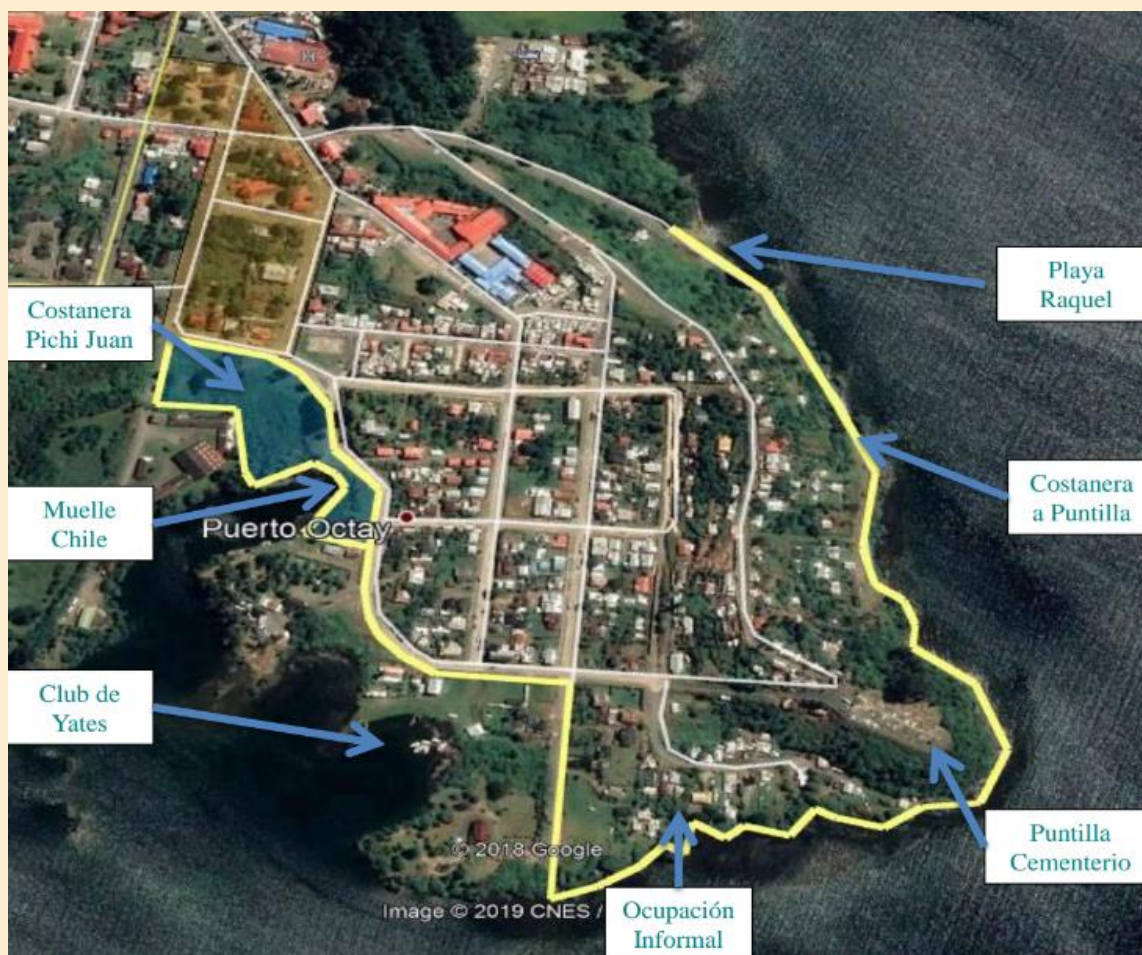
Causa del problema.

- Aspectos ambientales y de condiciones naturales: Presencia de contaminación de coliformes fecales por años de vertimiento directo al Lago, sectores del Humedal presenta deterioro de condiciones naturales, suelo en cuerpo lacustre presenta un alto contenido de limos finos.
- Gestión del espacio público: Deficiente gestión del Espacio Público bajo nivel de servicios y seguridad.

- Carácter patrimonial: Desconocimiento del Patrimonio Histórico del Sector Muelle Chile y Costanera Pichi Juan como nodo de transporte para el Chile Austral y Provincias del Sur de Argentina

Efectos del problema. El deterioro del sector limita el uso del Espacio Público, no permite reconocer la belleza paisajística natural del lugar y no guardan relación con las necesidades de uso de un espacio público ni con la condición de Zona Típica Patrimonial de Puerto Octay.

Figura 18. Borde lacustre de la ciudad de Puerto Octay



6.1.2. Diagnóstico de la Situación Actual

El diagnóstico de la situación actual tiene por objetivo realizar una descripción y análisis de los principales aspectos relacionados al problema definido. Para ello, es fundamental recopilar información adecuada a partir de fuentes primarias y/o secundarias que nos permitan identificar, describir, explicar y dimensionar el problema detectado, caracterizando la situación actual a la que se quiere dar solución. Una vez recopilada la información, se debe analizar en forma crítica, con el propósito de calificar el uso que se le dará durante el desarrollo del estudio y determinar con precisión aquellos antecedentes que se requiere actualizar, complementar y generar, en especial cuando la calidad de la información recopilada no existe o no es la adecuada para la finalidad que persigue el proyecto. En esta fase es esencial el análisis de los siguientes aspectos:

- Identificación del área de estudio y área de influencia

- Identificación de la población objetivo
- Demanda actual y proyectada
- Oferta actual y proyectada
- Déficit actual y proyectado

Además de incluir estos aspectos mínimos, se propone un mayor énfasis en el diagnóstico de los efectos del cambio climático a través de la incorporación de la identificación de las **Amenazas Climáticas** más significativas para la macrozona en la que se sitúa el proyecto y la **cuantificación del Riesgo Climático** (asociada a los impactos intermedios). Para este diagnóstico climático se plantea el uso de los “Mapas de Riesgo” de ARClím, los cuales combinan tres variables clave: amenaza climática (A), exposición (E) y sensibilidad (S), para determinar el riesgo asociado al cambio climático.

Hasta el momento, el ARClím contiene 62 cadenas de impacto distribuidas en 12 sectores entre las cuales se encuentran algunas que pudieran resultar relevantes para los servicios de infraestructura, especialmente aquellas relacionadas a los sectores de **Salud y Bienestar Humano, Infraestructura costera y Recursos Hídricos**. Esta plataforma permite explorar los niveles de un riesgo determinado en diferentes territorios como consecuencia del cambio climático, como por ejemplo los siguientes:

- Riesgo de inundación por desborde de ríos
- Riesgo de inundación en zonas urbanas
- Riesgo en la disponibilidad de agua superficial
- Riesgo para el aprovechamiento de agua superficial en riego
- Riesgo de sequías hidrológicas
- Riesgo de anegamiento de asentamientos costeros
- Riesgo de inundaciones por desborde de colectores de aguas lluvias
- Riesgo de incendios en asentamientos urbanos
- Riesgo de inseguridad hídrica doméstica urbana por sequía meteorológica
- Riesgo de inseguridad doméstica rural por sequía meteorológica

Para cada uno de estos riesgos asociados a una cadena de impacto, la plataforma del ARClím proporciona información geográfica que en la mayoría de casos se encuentra desagregada a nivel comunal. En ese sentido, se recomienda emplear esta herramienta para tomar en cuenta dentro del análisis el cambio en las condiciones climáticas actuales.

En el caso de falta de información o que el problema en estudio no esté asociado a ninguno de los riesgos evaluados a través de las cadenas de impacto, la plataforma ARClím también cuenta con un “Explorador de Amenazas Climáticas”. A través de esta herramienta cualquier usuario puede visualizar y descargar índices climáticos de un periodo histórico (1980-2010) y un periodo futuro (2035-2065) proyectado bajo un escenario RCP 8.5¹⁶, así como para la diferencia entre estos dos, es decir el cambio.

¹⁶ El RCP 8.5 es considerado un escenario “Business as Usual” que representa un futuro en el que no se implementan políticas significativas para reducir las emisiones de GEI.

En ese sentido, se recomienda considerar las proyecciones del clima bajo un escenario de altas emisiones de GEI como parte del análisis que suele realizarse en esta etapa de evaluación de proyectos.

Es importante mencionar que no en todos los casos las proyecciones del clima bajo un escenario de altas emisiones implican un riesgo mayor para los servicios de infraestructura. En algunos casos, podría no haber cambios significativos en el clima o incluso los cambios podrían ser positivos. Sin embargo, se recomienda realizar esta evaluación como un procedimiento estándar para identificar aquellos casos en los que sí se esperan cambios significativos que podrían afectar la evaluación del proyecto.

Los casos presentados a continuación ejemplifican a grandes rasgos el uso de las proyecciones climáticas para evaluar la existencia o no de amenazas en el territorio evaluado.

Caso Práctico N° 1. Sistema de Evacuación de Aguas Lluvia.

Diagnóstico general

Para la elaboración del diagnóstico de la situación actual se elaboraron diversos estudios – como el Informe catastro colector Sistema Gramado, San José; Diagnóstico estructural de colectores existentes Gramado y San Francisco”; Estudio geotécnico, entre otros- para caracterizar mínimamente los siguientes aspectos:

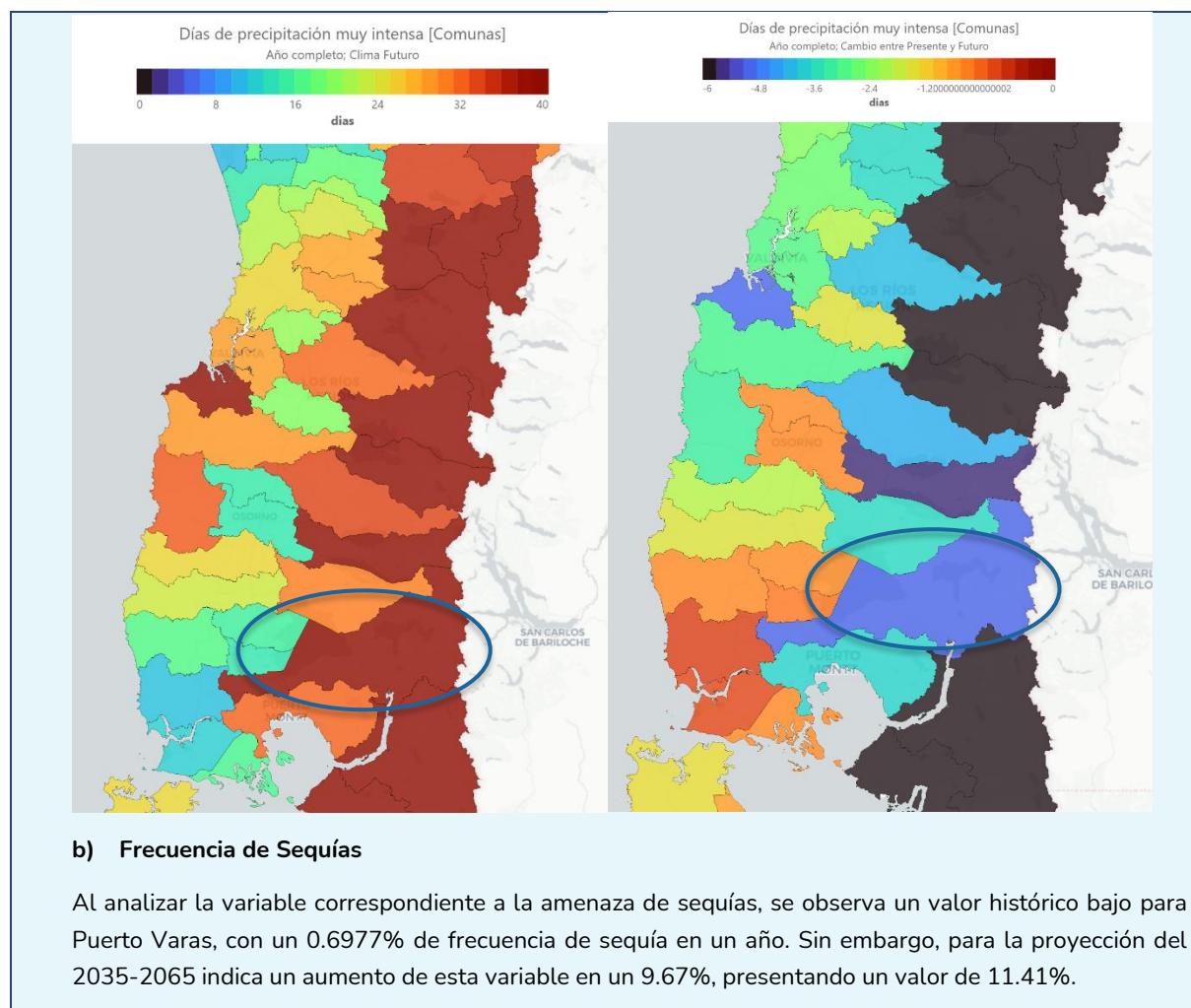
- Identificación del área de estudio y área de influencia
- Identificación de la población objetivo
- Demanda actual y proyectada
- Oferta actual y proyectada
- Déficit actual y proyectado

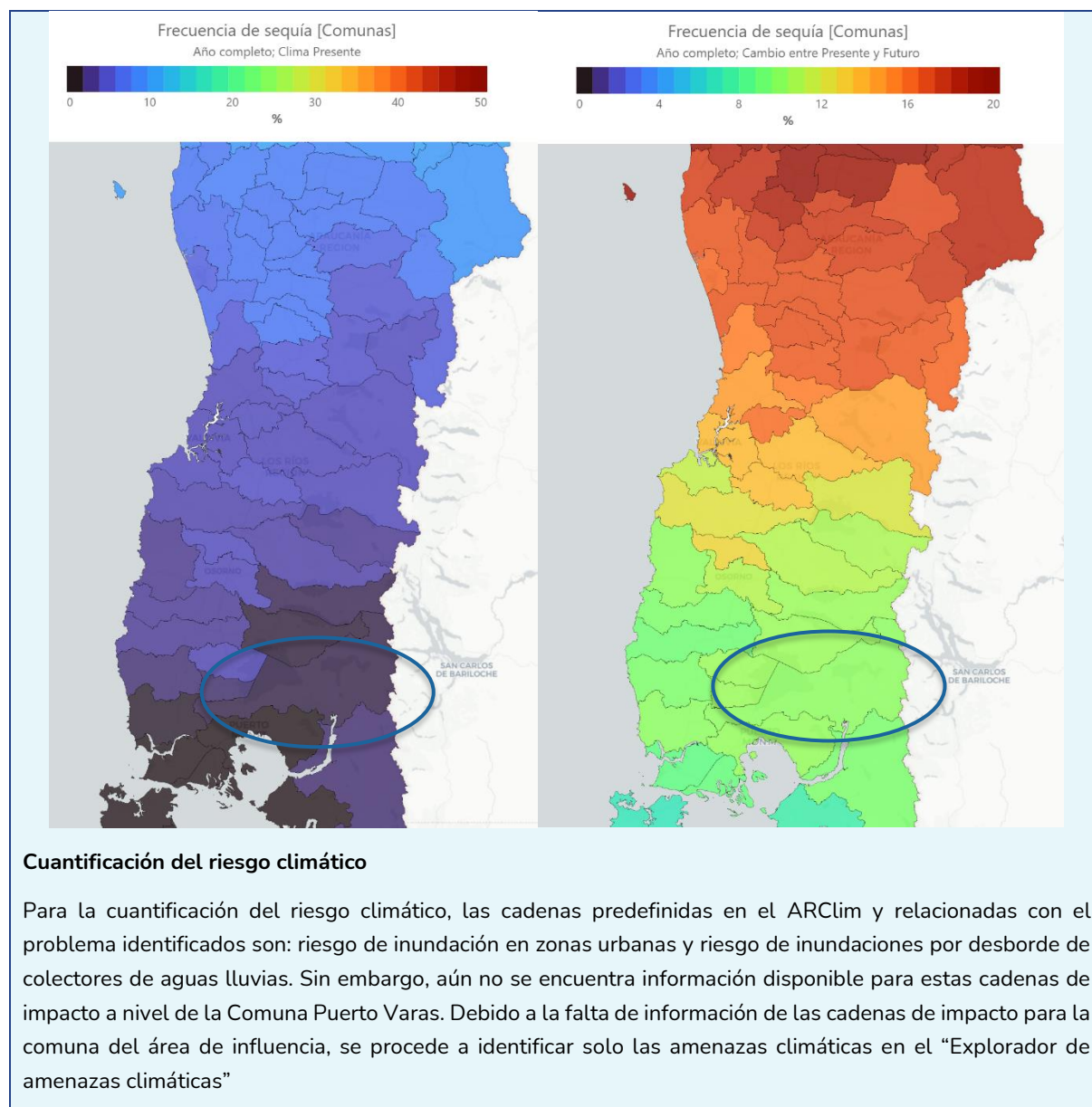
Diagnóstico del riesgo de desastres (énfasis en amenazas climáticas y riesgo climático)

Identificación de Amenazas Climáticas

a) Días de precipitación muy intensa

Utilizando el explorador de amenazas climáticas del ARClím se visualiza los valores futuros proyectados para el 2035-2065 bajo un escenario RCP 8.5 para la variable de “días de precipitación muy intensa”. Para la Comuna de Puerto Varas se observan un valor de 39.9 días anuales de precipitación muy intensa. Este valor se encuentra entre los más altos de la región. Sin embargo, al evaluar la variación ocurrida entre la proyección y la data histórica entre 1980-2010, la cual presenta valores de 45.41 días anuales, se observa una variación de -5.3 días. Esto evidencia que bajo las condiciones de un escenario “Business as Usual”, los días de precipitación muy intensa tienden a disminuir; más estos siguen siendo una de las áreas con mayor número de episodios de precipitaciones intensas en Chile.





Caso Práctico N° 2. Infraestructura portuaria

Diagnóstico general

Para el desarrollo del Proyecto fue necesario realizar un diagnóstico de la situación actual, con mención especial en la demanda y oferta turística proyectada, así como en la identificación de oportunidades para optimizar el estado actual. El diagnóstico general incluye:

- Identificación del área de estudio
- Identificación del Área de influencia
- Identificación de la población objetivo
- Análisis de involucrados
- Demanda actual y proyectada
- Oferta actual y proyectada
- Déficit actual y proyectado

Optimización de la situación actual

Se concluye que el estado actual de la infraestructura es irrecuperable, con mobiliario en condiciones irremediables y losas de recorridos y en la zona de monumentos quebradas y socavadas. Para garantizar la seguridad mínima, se requiere la construcción de un muro de protección entre el lago y la tierra. La condición de suelo licuable demanda soluciones estructurales complejas. En cuanto a las áreas verdes, aunque los árboles ornamentales son valiosos, las especies del humedal requieren intervención especializada para no afectar el biofiltro natural. Asimismo, es imprescindible una intervención mayor en el cuerpo de agua debido a la acumulación de desechos y residuos sanitarios a lo largo de los años.

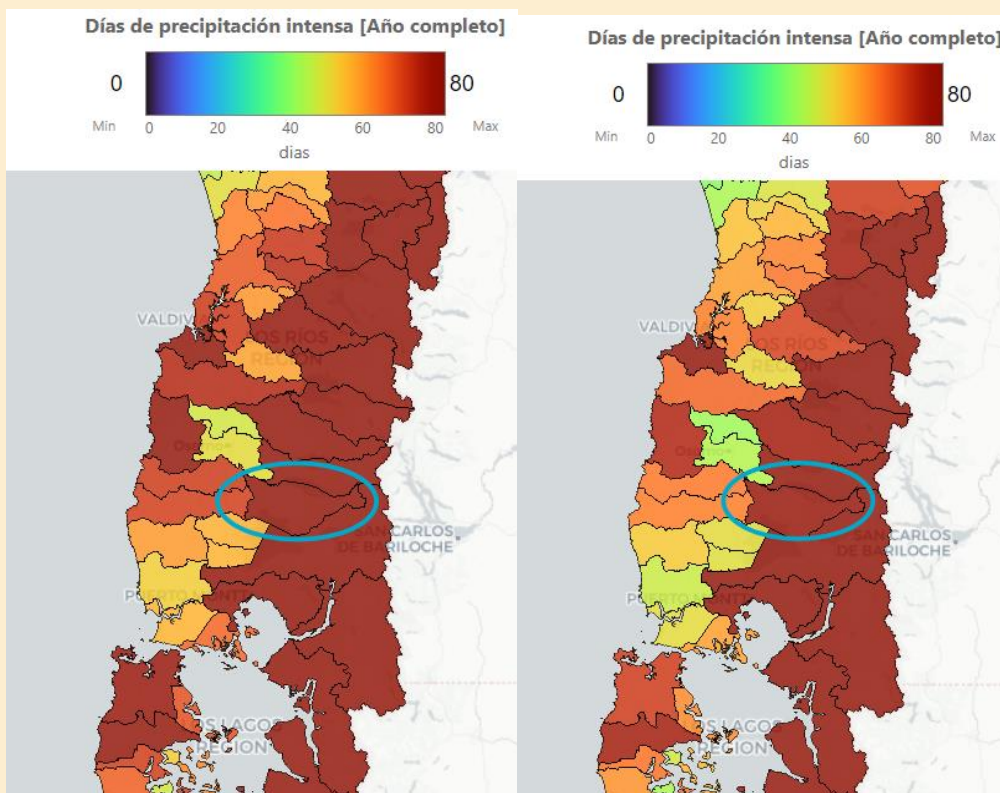
Diagnóstico del riesgo de desastres (énfasis en amenazas climáticas y riesgo climático)

Identificación de Amenazas Climáticas

Por la ubicación del proyecto en la macrozona sur, región Los Lagos y de forma específica la Comuna de Puerto Octay se identifican las amenazas climáticas más relevantes, siendo estas:

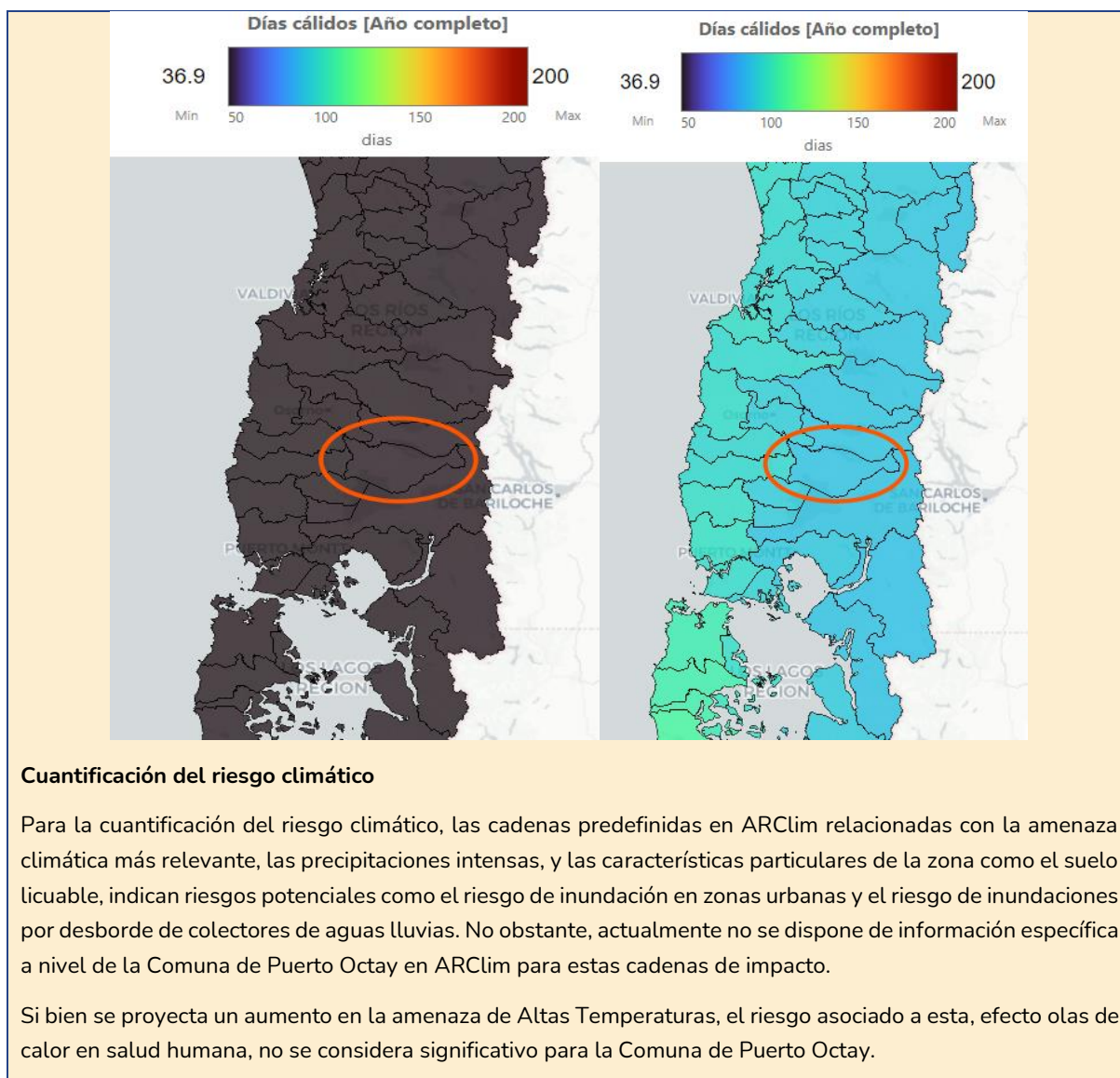
a) Precipitación intensa

Al analizar la variable de días de precipitación intensa en el "Explorador de Amenazas Climáticas", los valores proyectados para el periodo 2035-2065 bajo un escenario RCP 8.5 para la Comuna Puerto Octay muestran una disminución poco significativa, de 78 días en comparación con los 88 días registrados en la data histórica de 1980-2010. Aunque se proyecta una leve reducción, es relevante destacar que la zona sigue siendo una de las áreas con mayor número de episodios de precipitaciones intensas en Chile.



b) Altas Temperaturas

Siguiendo la misma metodología y bajo el mismo escenario de análisis (RCP 8.5), se proyecta que los episodios de altas temperaturas en la comuna de Puerto Octay, medidos a través de la variable de días cálidos, aumenten de forma significativa de un promedio de 37 días a 78 días.



6.1.3. Identificación de Alternativas

En esta fase, se identifican las posibles alternativas técnicas y legalmente viables para resolver el problema definido. La primera opción a considerar es la optimización de la situación actual, que consiste en implementar medidas de bajo costo que puedan mitigar parcial o totalmente el problema. Esta alternativa busca mejorar la eficiencia de los recursos existentes antes de optar por soluciones más complejas.

Si el problema persiste, se procede a formular nuevas alternativas, tomando en cuenta factores como el tamaño, la ubicación y la tecnología. En este proceso, se descartan aquellas opciones que no sean factibles por razones técnicas, presupuestarias, legales u otras. Es esencial recopilar toda la información necesaria para asegurar que la decisión final sea la más adecuada y sostenible.

Para facilitar la identificación de una Solución Basada en la Naturaleza (SbN) que responda a la problemática, se propone utilizar el "Banco de Alternativas de Soluciones Basadas en la Naturaleza" desarrollado en esta consultoría. Esta herramienta interactiva permite, a partir de la delimitación del

servicio de infraestructura del MOP y de la amenaza climática que se pretende abordar, obtener un listado de posibles SbN aplicables a la situación específica.

Es importante destacar que la identificación de una Solución Basada en la Naturaleza no excluye el uso de soluciones tradicionales, conocidas como soluciones grises. Al contrario, ambas pueden combinarse para generar un enfoque integrado y potenciado.

Mientras que las soluciones grises tienden a ofrecer respuestas estructurales inmediatas, las SbN brindan beneficios a largo plazo, como la resiliencia climática, la regulación natural de los recursos y la mejora del capital natural. La integración de ambas alternativas permite generar soluciones más completas y sostenibles, que respondan tanto a los desafíos ambientales como a los requisitos técnicos del proyecto, maximizando los beneficios socioambientales a lo largo del tiempo.

Interfaz del Banco de Soluciones SbN¹⁷

La interfaz del banco de alternativas está diseñada para facilitar la selección y evaluación de soluciones basadas en la naturaleza (SbN) dentro del contexto de infraestructura pública que se ve afectada por el cambio climático. A continuación, se detallan las principales secciones y funcionalidades de la interfaz:

- **Página principal del Banco**

- a) **Panel de Filtros.** Ubicada al lado izquierdo de la pantalla, este panel permite refinar la búsqueda en función de los siguientes criterios:
 - a. **Servicios:** Permite filtrar según tres categorías de servicios: conectividad, protección del territorio y edificación pública
 - b. **Servicios de infraestructura:** Permite filtrar por diferentes tipos de infraestructura pública como puentes, embalses, protección contra incendios, entre otros. Cada selección ajusta las alternativas SbN mostradas en función del servicio de infraestructura seleccionado
 - c. **Amenaza (factor climático):** Permite seleccionar el tipo de amenaza climática o impacto intermedio específico que repercute en impactos a la infraestructura, como marejadas, inundaciones, aumento de la temperatura, entre otras. Según la selección se visualizarán soluciones específicas.

Una vez configurados los filtros, el usuario puede eliminar todos los criterios aplicados manualmente o presionando el botón rojo "**Borrar filtros**".

- b) **Descripción del impacto.** Se encuentra ubicado en la parte superior derecha de la interfaz y proporciona un resumen de la situación en evaluación. Aquí se detallan el tipo de infraestructura pública, la unidad responsable dentro del MOP, el tipo de amenaza climática que incide en la infraestructura, el área geográfica afectada, los daños o riesgo que

¹⁷ [Link de la Interfaz interactiva del Banco de SbN](#)

enfrenta la infraestructura debido a la amenaza climática y la medida tradicional utilizada para mitigar o solucionar el impacto.

- c) **Panel de Alternativas SbN.** Se encuentra ubicado en la parte inferior derecha, y despliega las distintas soluciones basadas en la naturaleza que pueden aplicarse para mitigar el impacto identificado. Cada cuadro azul corresponde a una solución SbN. Al seleccionar estos cuadros podemos visualizar en el panel adyacente una imagen representativa para facilitar la identificación visual de las alternativas.

De igual manera, en la parte inferior encontramos el botón “Descripción de las Soluciones Basadas en la Naturaleza”. Este botón redirige al usuario a una página donde se detallan características adicionales de las Soluciones SbN.

- **Página de Descripciones de las iniciativas del Banco de SbN**

- a) **Panel de Filtros.** Ubicada al lado izquierdo de la pantalla, este panel permite refinar la búsqueda en función de los siguientes criterios:

- a. Tipo de Intervención: Permite filtrar según la tipología de SbN propuesta: ecosistemas verdes urbanos, ecosistemas forestales, ecosistemas marino-costeros, ecosistemas fluviales, Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible, zonas de captación de agua y diseño pasivo
- b. Tipo de Solución basada en la naturaleza: Permite filtrar por las diferentes medidas específicas abordadas en la tipología propuesta.

Una vez configurados los filtros, el usuario puede eliminar todos los criterios aplicados manualmente o presionando el botón rojo **"Borrar filtros"**.

- b) **Descripción de la SbN.** Se encuentra ubicado en la parte derecha de la interfaz y proporciona características principales de las soluciones, como su descripción, los servicios ecosistémicos asociados, los costos referenciales, una imagen representativa, las condiciones técnicas a tener en consideración, las limitaciones y la fuente de donde obtener mayor información

Figura 19. Página principal del Banco de SbN

a) Panel de Filtros

Filtros en función del tipo de servicio, tipo de infraestructura y tipo de amenaza que tiene potencial de impacto en la infraestructura debido al cambio climático

b) Descripción del Impacto

En esta sección se visualiza el servicio de infraestructura, su dirección competente, la amenaza, las macrozonas, el impacto que tiene sobre la infraestructura y las intervenciones tradicionales.

Servicios de Infraestructura	Infraestructuras de aguas de lluvia
Dirección del MOP competente	Dirección de Obras Hidráulicas
Amenaza (factor climático)	Marejadas
Macrozona	Norte, Centro y Sur
Impacto	Daño físico de colectores y canales en zonas costeras Obstrucción de los sistemas por el arrastre de sedimentos, escombros y residuos
Solución Tradicional	Infraestructura de protección

c) Panel de Alternativas SbN


En esta sección se despliegan las alternativas SbN que pueden dar solución al impacto identificado en las infraestructuras. Se acompaña de una imagen para facilitar la identificación gráfica.

Fuente. Elaboración Propia.


Figura 20. Página de Descripciones de las iniciativas del Banco de SbN

a) Panel de Filtros

Filtros en función de la tipología de alternativas SbN y/o el tipo de solución específica.



Banco de Soluciones Basadas en la Naturaleza



Ministerio de Obras Públicas
Gobierno de Chile

Tipo de intervención ▾

Solución SbN (1)

🔍 Escribe el término de búsqueda

Corredores y cinturones verdes

Forestación con plantas nativas

Conservación de rodales maduros

✓ Restauración y gestión sostenible de

Restauración y gestión sostenible de

Restauración y gestión sostenible de

Vegetación de la cuenca hidrográfica

Restauración de ríos

Restauración de humedales naturales


Pavimentos permeables

Alcorques estructurales

Drenes filtrantes

Cunetas verdes

Borrar filtros

Solución SbN ▾	Restauración y gestión sostenible de dunas costeras
Descripción	Las playas y las dunas contribuyen a la resiliencia costera y ayudan a regular el impacto de los peligros naturales a través de los intercambios de sedimentos dentro del sistema duna-playa. Estos ecosistemas contribuyen a reducir el riesgo de erosión costera al disipar la energía de las olas y el viento, actuando como barreras naturales. Algunas de las acciones de restauración utilizadas son: la preservación de la vegetación de las dunas, el uso de reservas de arena y la desartificialización y restauración mediante el desmantelamiento de infraestructuras costeras. Así, tras una tormenta, cuando la playa se erosiona, se puede reconstruir el borde costero con las reservas de arena de las dunas.
Servicios ecosistémicos	Moderación de eventos extremos Retención del suelo Refugio de biodiversidad
Costos Referenciales	Creación de dunas artificiales artificial y plantación de vegetación nativa: 77,393 USD / ha Restauración integral: 12,000 USD / ha Removilización de dunas estabilizadas: 1123 USD/m Geotubos: 247 USD/m Movimiento de la arena/plantación: 99 USD/m
Imágen	

b) Descripción de la SbN

En esta sección se visualiza información de la SbN seleccionada, como los servicios ecosistémicos que ofrece, costos referenciales, condiciones técnicas, limitaciones, entre otras.

Fuente. Elaboración Propia.

Caso Práctico N° 1. Sistema de Evacuación de Aguas Lluvias.

Para la selección de las alternativas que cumplan el objetivo perseguido, fue necesario tener presente las características urbanas de Puerto Varas, como:

- La particularidad de la cuenca aportante al Sistema San Francisco que incluyen algunas zonas declaradas humedales urbanos
- El tipo de redes analizadas, constituidas principalmente por el Cajón San Francisco
- Estudio de colectores secundarios
- Funciones básicas de las obras que se propone diseñar
- Compromiso establecido con la mesa indígena de la localidad de no intervenir las quebradas de las cuencas aportantes, de manera de no alterar el estado natural de estas, lo que obligó a darle mayor relevancia a la captación, el transporte, conducción y/o descarga al lago.

Identificación de alternativas. En base a ciertas consideraciones de diseño y a las soluciones planteadas en el Plan Maestro Aguas Lluvias de Puerto Varas (PM41), las obras proyectadas a nivel de factibilidad fueron las siguientes:

- Reemplazo del Cajón San Francisco con hormigón armado
- Refuerzo Cajón San Francisco. Reparar las partes dañadas de la infraestructura con hormigón armado y resolver la falta de capacidad con un ducto complementario paralelo
- Refuerzo de colectores laterales San Francisco, La Unión, Santiago y Verbo Divino. Configuración de una red que permite recoger la escorrentía de un sector más amplio del sistema.
- Sistema de Drenaje Urbano Sostenible (SUDS). Adecuación de áreas verdes de manera estratégica para la creación de cadenas de jardines de lluvias interconectados que suplan la necesidad de colectores o sumideros.

Alternativas del Banco de Soluciones

Haciendo uso de la interfaz desarrollada en la consultoría, se obtuvieron las siguientes alternativas que dan respuesta a problemas debido a precipitaciones y sequías

- Precipitaciones: pavimentos permeables, drenes filtrantes, cunetas verdes, áreas de bioretención (jardines de lluvia), zanjas y pozos de infiltración, depósitos reticulares, aljibes.
- Sequías: restauración de humedales, áreas de bioretención, depósitos reticulares, aljibes
- SbN aplicables para ambas amenazas: áreas de bioretención (jardines de lluvia), depósitos reticulares, aljibes.

Teniendo en cuenta la solicitud directa a la DOH de incluir proyectos SbN en el diseño del proyecto, el Banco SbN refuerza la elección de integrar jardines de lluvia en el proyecto, no solo porque ayudan a contrarrestar el déficit de capacidad de infiltración y retención hídrica del cajón; sino también porque es la opción que aporta resiliencia al área de influencia ante futuros eventos de sequías hidrometeorológicas.

Entre las características levantadas de experiencias similares y que se presentan en el banco para estas soluciones cabe destacar tener en cuenta en las fases de diseño y evaluación lo siguiente:

- El diseño debe incluir una base plana, protección en la entrada de la escorrentía, vegetación autóctona densa y un sistema de drenaje sub-superficial en terrenos impermeables
- Una capa de filtración secundaria de arena o grava puede colocarse para mejorar la infiltración
- Se recomienda mantener una distancia mínima de 2 m de las cimentaciones cercanas o el empleo de geomembranas protectoras
- El mantenimiento debe considerar inspecciones anuales o reparaciones por erosión en los puntos de entrada del agua. Además, la vegetación debe mantenerse periódicamente para evitar obstrucciones

por sedimentos y mantener el atractivo del lugar. Evitar el uso de fertilizantes químicos que contaminen el agua.

Alternativa priorizada: Refuerzo del cajón San Francisco y construcción de SUDS

Según los antecedentes del proyecto “Factibilidad e Ingeniería de Detalle Sistema de Evaluación de Aguas Lluvias Cajón San Francisco, Comuna de Puerto Varas, Región de Los Lagos” se evaluaron 6 alternativas de proyecto como soluciones para el sistema San Francisco, cuya selección tuvo como criterios: indicadores económicos, dificultades constructivas y afectación a terceros. Como resultado de la evaluación de las alternativas, se seleccionó el Refuerzo del Cajón San Francisco para T=25. Además, se consideran obras Drenaje Urbano Sostenible (DUS), denominadas “Cordón Verde Santiago” y “Terrazas Santa Rosa”, para potenciar sinérgicamente ambas medidas, cuyo beneficio estaría dado por la retención e infiltración del flujo que escurre por la calle. A continuación, se describe con un mayor detalle las características de las alternativas SbN priorizadas: Cordón Verde Santiago y Terrazas Santa Rosa.

Cordón Verde Santiago. El Cordón Verde Santiago corresponde a la adecuación de cinco áreas verdes continuas como una cadena de jardines de lluvias interconectados que suplan la necesidad de colectores o sumideros. Esta se encuentra paralela a la Calle Santiago, la cual no posee colector.

- Ubicación: Calle Santiago, entre San Ignacio y Unión
- Cadena de 5 jardines de lluvia interconectados
- Área de infiltración: 105.22 m²
- Volumen de almacenamiento: 53.66 m³
- Beneficio: infiltración y retención del flujo que escurre por la calle, disminuyendo y retardando el flujo que ingresa más abajo al cajón San Francisco.



Terraza Santa Rosa: La terraza Santa Rosa corresponde a la adecuación de una vereda verde continua con un conjunto de 9 jardines de lluvia dispuestos en cascada, conformando terrazas contiguas.

- Ubicación: Calle Santa Rosa, entre Imperial y Del Salvador
- 13 jardines dispuestos en forma de cascada
- Área de infiltración: 75.97 m²
- Volumen de almacenamiento: 26.7 m³
- Beneficio: infiltración y retención del flujo que escurre por la calle, disminuyendo y retardando el flujo que ingresa al cajón San Francisco.



Figura 21. Vista en terreno del sector destinado para los jardines de lluvia del Cordón Verde Santiago



Caso Práctico N° 2. Infraestructura portuaria

Identificación de alternativas

Una de las mayores dificultades de carácter técnico para la elección de las alternativas fue que debían abordar el Alto Potencial de Licuación del Suelo de Fundación. Efecto que aqueja a los suelos granulares de baja compactación en condición saturada (bajo agua), que sometidos a una aceleración (sismo) pierden capacidad de soporte y se comportan en forma similar a un líquido (lodo). Esto implica que las infraestructuras construidas sobre dichos suelos son propensas a experimentar un alto nivel de deformaciones.

Entre las alternativas se encuentran:

- **Alternativa Solución Flexible:** Consiste en la instalación de gaviones soportados por una base de roca que le permite la capacidad de adaptación a la licuación del terreno.
- **Alternativa Solución Rígida:** Comprende la instalación de Muros HA anclados sobre un base de roca y columnas de grava.

Alternativas del Banco de Soluciones

Haciendo uso de la interfaz del Banco, se identificaron posibles soluciones que responden a las amenazas climáticas previamente mencionadas, como las "altas temperaturas" y las "precipitaciones intensas", vinculadas al tipo de Proyecto desarrollado.

- Precipitaciones intensas: pavimentos permeables, cunetas verdes y áreas de bioretención.
- Altas temperaturas: instalación de pérgolas refrescantes, forestación con plantas nativas, áreas de bioretención y alcorques estructurales.
- SbN aplicables para ambas amenazas: áreas de bioretención

El Banco permitió identificar soluciones adicionales a las implementadas en el diseño del paisajismo, que pueden considerarse como medidas complementarias. Asimismo, refuerza la solución implementada por el Proyecto que

coincide con la sugerida en el Banco: "áreas de bioretención", las cuales contemplan el uso de vegetación para el manejo de aguas urbanas (biofiltro).

En el caso particular del Proyecto, se identificó que la solución "áreas de bioretención" responde a ambas amenazas climáticas (precipitaciones intensas y altas temperaturas). Si no se hubiera encontrado esta coincidencia, se recomienda aplicar una solución específica para cada amenaza a fin de abordarlas de manera integral.

Alternativa priorizada:

Debido a que la solución flexible instalada ha demostrado soportar adecuadamente los sismos, incluyendo terremotos, y tratándose de alternativas equivalentes, se decidió optar por la solución de menor costo, la Solución Flexible.

Entre los principales elementos del Proyecto tenemos:

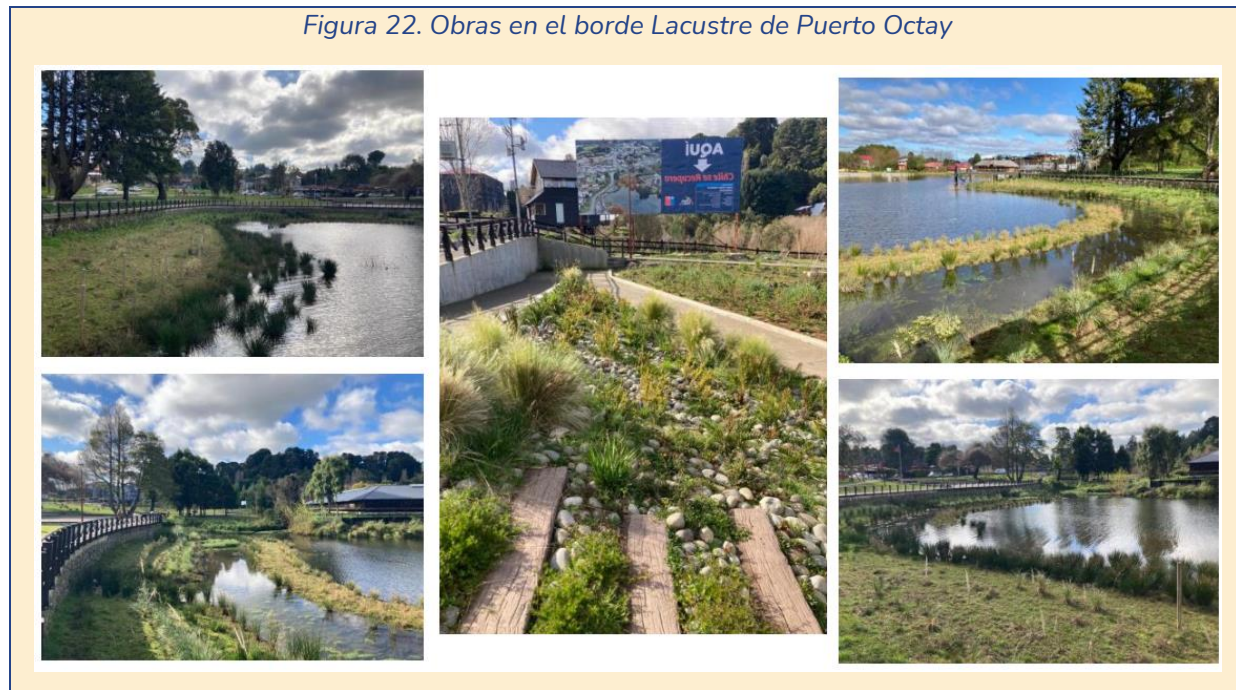
- Paseo de Borde Calzada
- Paseo de Borde Lago
- Limpieza y Recuperación Sector de Humedal: Busca potenciar el valor paisajístico y ecológico del humedal mediante la limpieza de los desechos actuales, la extracción de especies invasoras y la remoción de la primera capa del lecho del lago, que está altamente contaminada. Se contempla la implementación de biofiltros, un área intermedia donde, a través de especies vegetales, se mitigará la contaminación y se descargará agua de mejor calidad. Además, se consolidará el borde del estero Habert con especies arbustivas, mientras que el borde del humedal será reforzado con especies palustres para fomentar la presencia y nidificación de avifauna.
- Plaza de conmemoración cívica, monumentos públicos y restos del Muelle Chile
- Mirador al Muelle Chile
- Mirador Humedal
- Anfiteatro
- Sector de Juegos Infantiles y Máquinas de Ejercicios
- Área de Servicios e Información Turística

Proyecto de Paisajismo

El proyecto de paisajismo se enfoca en la utilización de especies nativas, de bajo mantenimiento y propias de la zona, estableciendo áreas específicas para su emplazamiento. Estas áreas han sido seleccionadas considerando criterios de seguridad, ecología, paisajismo y aspectos arquitectónicos que complementen los espacios. Las labores a realizar dentro del proyecto se estructuran de la siguiente manera:

- A. **Manejo del arbolado existente**
- B. **Recuperación del cuerpo de agua**
- C. **Propuesta vegetal**
- D. **Biofiltros:** Estos biofiltros se desarrollarán mediante excavaciones que serán rellenadas con capas de bolones y arenas, separadas por geotextil. Sobre estas capas se colocará una enmienda de plantación donde se sembrarán especies de pajonal, creando un sistema natural de filtración.

Figura 22. Obras en el borde Lacustre de Puerto Octay



6.2. Evaluación de Beneficios Socioambientales

La evaluación global del proyecto tiene por objetivo establecer la conveniencia técnico-económica de ejecutar el proyecto. Para la evaluación de un proyecto se puede adoptar un enfoque costo-beneficio o un enfoque costo-eficiencia, dependiendo si es posible cuantificar y/o valorar los beneficios del proyecto.

En cuanto a las Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN), estas se distinguen de las soluciones convencionales por su enfoque integral, que genera múltiples co-beneficios a través de los servicios ecosistémicos asociados a la intervención. Por esta razón y bajo el interés de avanzar en la cuantificación y valoración de los beneficios que este tipo de proyectos genera, se hace necesario desarrollar y aplicar nuevas herramientas que permitan de manera cuantitativa y objetiva incorporar el análisis de estos beneficios en la evaluación de un proyecto, profundizando el análisis de su viabilidad y mejorando la calidad de la toma de decisiones públicas bajo argumentos y lineamientos sólidos.

Por ello, y considerando la variedad de metodologías del Sistema Nacional de Inversiones (SNI) disponibles para guiar la evaluación de proyecto, esta sección se enfocará en la evaluación de los beneficios por servicios ecosistémicos asociados a los proyectos de inversión. Esto no excluye que el proceso de evaluación de las alternativas identificadas deba respetar las etapas indicadas en los manuales existentes según el tipo de proyecto y tipo de enfoque escogido.

La metodología propuesta se divide en dos etapas a) la identificación de los beneficios por servicios ecosistémicos y b) La valoración y cuantificación de los beneficios identificados. Se propone que esta evaluación de beneficios sea complementaria al análisis técnico-económico que se realiza en los proyectos que ingresan al SNI.

Es importante destacar que el factor temporal es particularmente relevante en la evaluación de proyectos que integran SbN. Mientras que las soluciones grises, como la infraestructura convencional,

tienden a mostrar resultados más inmediatos (aunque a menudo con un impacto limitado en el largo plazo), las SbN requieren un periodo más prolongado de evaluación para revelar todo su potencial. Esto se debe a que los servicios ecosistémicos, como la mejora de la biodiversidad, la infiltración hídrica o la captura de carbono, dependen de procesos ecológicos que evolucionan a lo largo del tiempo.

Es recomendable que las SbN sean evaluadas en un horizonte temporal de al menos 15 a 30 años, para reflejar adecuadamente la progresión de los beneficios acumulativos. Esto contrasta con las soluciones grises, cuyo ciclo de evaluación puede ser más corto (5 a 10 años) debido a la estabilidad y previsibilidad de los resultados que ofrecen en el corto plazo. Sin embargo, es importante reconocer que el impacto de las SbN no solo crece con el tiempo, sino que su contribución a la resiliencia y la sostenibilidad de los ecosistemas y comunidades puede exceder las expectativas iniciales, justificando así un seguimiento extendido.

6.2.1. Identificación de Beneficios por servicios ecosistémicos

Los beneficios generados por un proyecto de Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN) dependerán de la naturaleza y el alcance de la intervención. Para facilitar y estandarizar su evaluación, a continuación, se presentan las definiciones de los servicios ecosistémicos identificados como los de mayor relevancia en las competencias y objetivos del MOP; así como las relaciones encontradas entre estos y las metas ECLP de las direcciones del MOP.

Tabla 24. Servicios ecosistémicos de interés para el MOP

Tipo de Servicio	Descripción
Servicios de regulación	
Moderación de eventos extremos	Capacidad de los ecosistemas para amortiguar los riesgos de eventos naturales, como tormentas, inundaciones, sequías, entre otras. Los servicios prestados por esta función están relacionados con la seguridad de las infraestructuras y vidas humanas.
Regulación del clima	Capacidad de los ecosistemas de mantener un clima favorable a escala local y global. Uno de los indicadores más usados para la valoración de este servicio es la capacidad de los ecosistemas de capturar CO ₂ .
Regulación de gases	Capacidad de los ecosistemas de mantener el equilibrio entre la atmósfera y la superficie terrestre, captando determinados gases y/o contaminantes atmosféricos a través de los ciclos biogeoquímicos. Los principales servicios que presta la función de regulación de los gases son el mantenimiento de un aire limpio y respirable y la prevención de enfermedades.
Regulación hídrica	La regulación del agua trata de la influencia de los sistemas naturales en la regulación de las condiciones normales de los flujos hidrológicos. Algunos de los servicios ecosistémicos derivados son el mantenimiento del riego y el drenaje naturales, la amortiguación de las descargas extremas de los ríos, la regulación del caudal de los cauces, el amortiguamiento de eventos hídricos extremos.
Suministro de agua	Se refiere a la filtración, retención y almacenamiento de agua en cuerpos de agua. La función de filtrado la desempeñan principalmente la cubierta vegetal y la biota; mientras que la capacidad de retención y almacenamiento depende de la topografía y de las características específicas del suelo. Los servicios ecosistémicos asociados al suministro de agua están relacionados con el uso consuntivo del agua.
Retención del suelo	Capacidad de los ecosistemas y sus aspectos estructurales como su cubierta vegetal o su sistema radicular para retener el suelo, facilitar su sedimentación y/o prevenir su erosión gradual o súbita. Su papel es importante para la productividad del suelo y la regulación de reservas de agua.
Reducción de contaminantes	Capacidad de los sistemas naturales de almacenar, reciclar, eliminar y/o descomponer ciertos compuestos residuales orgánicos e inorgánicos mediante dilución, asimilación y recomposición química.
Servicios de hábitat	
Refugio de biodiversidad	Mantenimiento de la diversidad biológica y genética local, que son el soporte de los demás servicios ecosistémicos, así como la protección de la viabilidad de los procesos evolutivos.

Fuente. Tomado de De Groot et al., 2002

Tabla 25. Metas ECLP del MOP y los Servicios Ecosistémicos asociados a estas metas

Meta 2030	Servicios ecosistémicos
DA: "... inclusión de criterios de infraestructura verde en proyectos de edificación pública, paisajismo y espacios públicos en los que tenga injerencia la Dirección de Arquitectura. Contar con al menos un 20% de iniciativas en etapa de pre factibilidad con este tipo de soluciones."	Inclusión general de proyectos de infraestructura verde y sus servicios asociados
DGC "Actualización de Manual de áreas verdes y contratos implementando desde el diseño aspectos medioambientales para la puesta en valor de la biodiversidad e incorporación de especies nativas para la captación de contaminantes, mitigación del cambio climático , entre otros"	Regulación del clima, regulación de gases, filtración de contaminantes, refugios de biodiversidad
DAP: "Incorporar en el MDA, capítulo de paisajismo para el desarrollo de infraestructura verde, café, azul (SbN) en complemento y/o reemplazo de infraestructura gris. Y en caso de ser factible, considerar la implementación de estas soluciones en al menos 20% en proyectos aeroportuarios ."	Inclusión general de proyectos SbN y sus servicios asociados
DOH: Desarrollar y aprobar metodología de evaluación proyectos multipropósito que incorporen infraestructura hidráulica, áreas verdes y recreación (por ejemplo: parques inundables, parques fluviales, humedales artificiales, sectores de almacenamiento, bioretención e infiltración, etc.)	Moderación de eventos extremos, regulación del clima, regulación hídrica, retención del suelo
DV: El 30% de los estudios de Ingeniería incorporará el uso de especies nativas en sus proyectos de paisajismo.	Refugios de biodiversidad, retención del suelo
DOP: "El 50% de los proyectos emplazados en sectores naturales, que incorporen paisajismo, se realizarán utilizando especies endémicas ."	Refugios de biodiversidad, retención del suelo

Fuente. Elaboración propia

En el Banco de Alternativas SbN, se realiza una primera identificación de los servicios ecosistémicos asociados a este tipo de soluciones. A partir de esta base, se debe hacer el levantamiento de información primaria y/o secundaria para la determinación objetiva de los servicios a cuantificar y valorar; priorizando aquellos con mayor relevancia para la solución del problema identificado o con mayor alcance e impacto positivo en la sociedad y el ambiente. En esta etapa también se excluyen de la evaluación aquellos beneficios que no son técnico o económicamente viables de cuantificar.

6.2.2. Cuantificación y Valoración de los Beneficios

Para la evaluación de los beneficios socioambientales, se identificaron una serie de metodologías incluidas en diversos manuales del Sistema Nacional de Inversiones (SNI) para la evaluación social de los proyectos. Esta evaluación social permite determinar en qué medida un proyecto de inversión tendrá un efecto sobre la sociedad en términos económicos y de bienestar. A continuación, se muestran los beneficios socioambientales que ya cuentan con una metodología de evaluación establecida en el SNI y que pueden servir de referencia para la evaluación de soluciones basadas en la naturaleza.

Tabla 26. Beneficios socio-ambientales y metodologías existentes en el SNI para su evaluación

Servicio Ecosistémico	Beneficios socioambientales	Metodología de evaluación	Fuente de referencia
Moderación de eventos extremos	Menor daño en propiedades residenciales	daño evitado	Metodología de formulación y evaluación de proyectos de evacuación y drenaje de aguas lluvia
	Menor daño en propiedades comerciales e industriales	precio hedónico	
	Menor daño en establecimientos públicos	precio hedónico	
	Menor daño en vehículos	daño evitado	
	Menor deterioro de la infraestructura vial	daño evitado	
	Disminución de los costos generalizados de viaje	daño evitado	
	Menores gastos de emergencia y limpieza de vías y sumideros	ahorro de costos	
	Menor ausentismo laboral	daño evitado	
	Menor ausentismo escolar	daño evitado	
	Liberación de recursos públicos en salud	ahorro de costos	
	Liberación de recursos públicos en ONEMI	ahorro de costos	
Regulación del clima	Regulación de temperatura	indicadores	Metodología de evaluación socioeconómica de proyectos de megaparques urbanos
Regulación de gases	Captura de CO2	indicadores	
Filtración de contaminantes	Mejoramiento medioambiental	indicadores	
	Reducción de contaminación acústica	indicadores	
Regulación hídrica	Regulación de hidrología urbana	indicadores	
Refugio de biodiversidad	Biodiversidad y conservación de especies	indicadores	

Fuente: Elaboración propia a partir de De Groot et al., 2002

En la evaluación de las alternativas identificadas, es común que los beneficios de los servicios ecosistémicos no puedan ser cuantificados o valorados monetariamente. Esto puede deberse al alto costo de realizar dicha valoración o a la falta de información necesaria para llevarla a cabo. En estos casos, los beneficios suelen incorporarse en el análisis mediante indicadores que representen adecuadamente los impactos socioambientales asociados a las Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN). Estos indicadores proporcionan información adicional para que los tomadores de decisiones puedan evaluar la conveniencia de ejecutar uno u otro proyecto, considerando no solo los aspectos técnicos y económicos, sino también los beneficios intangibles del entorno.

A continuación, se recomienda un conjunto de indicadores que pueden ser evaluados para mejorar la comprensión de las variables relacionadas con el bienestar y la calidad de vida de la población afectada en la situación sin proyecto, comparándolas con los valores proyectados tanto para un proyecto de infraestructura gris como para un proyecto que integre SbN. Estos indicadores no reemplazan a los de rentabilidad económica, sino que los complementan, ofreciendo una visión más integral de los impactos y beneficios potenciales de las diferentes alternativas.

Es fundamental destacar que la evaluación de proyectos no debe considerarse como una dicotomía entre infraestructura gris y soluciones basadas en la naturaleza. Ambos enfoques pueden combinarse de manera efectiva para optimizar los resultados, por lo que los indicadores propuestos pueden evaluarse para la solución gris, la solución SbN y/o una combinación de estas.

Tabla 27. Indicadores para la evaluación de beneficios ambientales de las alternativas en evaluación

Servicio Ecosistémico	Indicador	Definición	Unidad de medida
Moderación de eventos extremos	Población afectada durante eventos extremos	Porcentaje de la población que se ve afectada por la ocurrencia de eventos extremos	%
	Infraestructura en situación de riesgo	Proporción de infraestructuras públicas y privadas vulnerables a desastres naturales, tales como edificios, redes de transporte o servicios básicos expuestos a daños.	%
Regulación del clima	Variación anual de la temperatura	Cambio promedio anual en la temperatura local como resultado del proyecto. Los servicios ecosistémicos de las alternativas SbN suelen regular el cambio por la presencia de vegetación o cuerpos de agua.	°C
	Costos de aclimatación	Costos relacionados con el uso de equipos de calefacción y aire acondicionado en edificaciones públicas durante su etapa de ejecución. Las alternativas SbN suele reducir los costos proyectados debido a la regulación térmica natural proporcionada por el ecosistema.	CLP\$
	Disponibilidad de áreas verdes	Proporción de superficie verde permanente en relación al área total del proyecto, que influye en la mitigación del efecto de isla de calor y mejora de la calidad de vida.	% (área verde / área total)
Regulación de gases	Secuestro y almacenamiento de carbono	Cantidad de carbono capturado por la vegetación de los ecosistemas presentes en los proyectos, lo cual contribuye a la mitigación del cambio climático.	tC/ha (toneladas de carbono por hectárea)
	Emisiones de GEI	Estimación de las emisiones de GEI producidas durante la construcción y operación del proyecto. Los proyectos que integran SbN suelen compensar parte de las emisiones generadas.	tCO2e/año
Regulación hídrica	Volumen de infiltración	Capacidad de la solución para infiltrar agua de lluvia, reduciendo la escorrentía superficial	m3/año

	Retención de agua	Capacidad de la solución para retener agua en áreas naturales o artificiales, ayudando a prevenir inundaciones y mejorando la disponibilidad de agua.	m3/año
	Coeficiente de escorrentía	Proporción de agua de lluvia que fluye sobre la superficie en lugar de ser absorbida por el suelo, lo cual interfiere en la filtración de agua y recarga de acuíferos.	m3/año
Suministro de agua	Disponibilidad de agua a disposición de la población	Volumen de agua potable disponible para la población objetivo del área del proyecto.	m3/persona/año
	Cantidad de agua recuperada y recirculada a nuevos usos	Volumen de agua recuperada y reutilizada a través de procesos de tratamiento y recirculación en nuevos usos, promoviendo la sostenibilidad hídrica.	m3/año
	Calidad de agua	Concentración de sólidos suspendidos y otros contaminantes en cuerpos de agua, afectando la calidad del recurso hídrico para consumo humano.	mg/L SST (Sólidos suspendidos)
Retención del suelo	Tasa de erosión	Pérdida de suelo por unidad de superficie, lo cual tiene un impacto negativo en la fertilidad del terreno y la biodiversidad. Las soluciones que integran SbN suelen reducir la tasa de erosión por las estructura, soporte y agregación de las partículas de suelo que genera la vegetación y su sistema radicular	ton/ha/año
	Cobertura vegetal	Porcentaje de superficie cubierta por vegetación en relación con el área total del proyecto, lo cual contribuye a la estabilidad del suelo y a la reducción de la erosión.	%
Filtración de contaminantes	Ruido ambiental	Reducción del nivel de ruido ambiental. Las soluciones que integran SbN suelen disminuir los niveles de ruido por la presencia de barreras naturales de amortiguación como es la vegetación.	dB
	Calidad del aire	Presencia de contaminantes nocivos en el aire medidos por el índice de calidad del aire	Nº (índice de calidad de aire)
	Calidad de agua	Porcentaje de muestras de agua que cumplen con las normas nacionales de calidad del agua potable	%
Refugio de biodiversidad	Conservación de fauna y flora local	Diversidad y cantidad de especies de flora y fauna endémica en el área del proyecto	Nº de especies endémicas en el área del proyecto
	Conservación de la biodiversidad	Diversidad y cantidad de especies de flora y fauna conservadas en el área del proyecto, evaluadas a través de índices.	Nº de especies/m ² (índice de biodiversidad) Bits/individuo (índice de Shannon)
	Restauración de hábitats naturales	Área total restaurada y rehabilitada por el proyecto para mantener o mejorar la biodiversidad local, contribuyendo a la resiliencia ecológica.	Ha (hectáreas restauradas)

Fuente. Elaboración propia

6.3. Monitoreo y mejora continua

El monitoreo de la eficacia y eficiencia de las alternativas seleccionadas es un componente clave para garantizar que los objetivos del proyecto se cumplan a largo plazo. En el caso de proyectos que integren Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN), es esencial realizar un seguimiento sistemático de los indicadores definidos durante la etapa de evaluación de beneficios. Estos indicadores no solo sirven como referencia para establecer una línea base, sino que también proporcionan información crucial para identificar oportunidades de ajuste y mejora en la implementación de las SbN. Además, permiten evaluar el aumento progresivo de los beneficios derivados de los servicios ecosistémicos.

El monitoreo post implementación de los proyectos que integran SbN debe ser más extenso y adaptativo que en las soluciones convencionales, debido a la naturaleza de los procesos ecosistémicos que requieren un horizonte temporal mayor para maximizar sus beneficios. La evaluación continua permite ajustar las intervenciones y aprovechar el crecimiento progresivo de los servicios ecosistémicos, garantizando que las SbN no solo cumplan sus objetivos iniciales, sino que también contribuyan a largo plazo a la resiliencia ambiental y al bienestar socioeconómico

Para el monitoreo de los proyectos implementando se debe considerar mínimamente lo siguiente:

6.3.1. Establecimiento de la Línea Base

Los indicadores seleccionados durante la fase de evaluación de los beneficios socioambientales deben medirse antes de la implementación del proyecto para establecer una línea base que permita comparar el desempeño a lo largo del tiempo. Este conjunto de datos iniciales será fundamental para evaluar los cambios generados por el proyecto y ajustar las estrategias operativas según sea necesario. Para una evaluación robusta, es esencial definir claramente las métricas y metodologías que serán utilizadas durante la etapa de monitoreo.

6.3.2. Monitoreo continuo y adaptativo

El monitoreo de las SbN requiere una evaluación a largo plazo, dado que muchos de los beneficios de los servicios ecosistémicos no se manifiestan de manera inmediata, a diferencia de las soluciones convencionales o "grises". Por ejemplo, la regulación del clima, la mejora de la calidad del aire o el secuestro de carbono suelen mostrar resultados significativos solo después de varios años de implementación. Por tanto, el monitoreo debe realizarse de manera periódica (anual o bienal) y estar diseñado de forma adaptativa, permitiendo ajustes en las intervenciones en función de los resultados obtenidos.

El monitoreo continuo no solo tiene el objetivo de evaluar si los beneficios esperados se materializan, sino también de identificar oportunidades de mejora a lo largo del ciclo de vida del proyecto.

Evaluación de beneficios por servicios ecosistémicos

Caso Práctico N° 1. Sistema de Evacuación de Aguas Lluvia.

Evaluación de los beneficios

La evaluación social del proyecto “Cajón San Francisco y Cajón San Francisco Refuerzo” se basa en la versión actualizada en el año 2017 de la “Metodología para Formulación y Evaluación de Proyectos Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias” del Ministerio de Desarrollo Social y Familia (MDSyF). En dicha metodología se establece que, para medir y valorar los beneficios de un proyecto, asociado a un nivel determinado de protección contra inundaciones, se deben utilizar dos métodos dependiendo del tipo de beneficios: precios hedónicos y ahorro de costos por daño evitado. El presupuesto de las alternativas seleccionadas en la etapa anterior fue realizado bajo un enfoque costo-beneficio.

El cálculo de los beneficios sociales se basa en el daño evitado para la infraestructura de viviendas y en precios hedónicos para el resto de la infraestructura no habitacional. Además, se incorporan métodos de estimación para los beneficios asociados a disminución de gastos en reparación de vehículos, en deterioro de pavimentos en CGV de vehículos, menor ausentismo escolar y laboral y disminución de los gastos históricos en emergencia y mantenimiento del área afectada por las inundaciones. La información principal requerida para la estimación de estos beneficios es la altura de inundación con y sin proyecto.

Con el fin de determinar alturas de inundación en calles del área de estudio a partir de las cuales evaluar los daños en las situaciones Sin y Con Proyecto, se realizaron un total de 40 modelaciones con el software SWMM. Estas modelaciones contemplan 5 períodos de retorno (2, 5, 10, 25 y 100 años) y 4 duraciones (6, 12, 24 y 48 horas).

Además de esta modelación se realizaron las siguientes acciones:

- Catastro del número de infraestructuras existentes
- Determinación del valor comercial de las infraestructuras mediante el análisis de las actuales ofertas de venta registradas en diversas fuentes como publicaciones de transacciones de compraventa
- A través de estadísticas de tráfico y viales se buscó estimar el uso de las vías actuales y los efectos de las inundaciones sobre la movilidad urbana.

Bajo este contexto, se evaluaron los siguientes beneficios:

- Menor daño en propiedades residenciales
- Menor daño en terrenos baldíos anegadizos
- Menor daño en propiedades comerciales e industriales
- Menor daño en parcelas de agrado o afines
- Menor daño en establecimientos públicos
- Disminución en reparación de vehículos
- Menor daño en infraestructura vial
- Disminución costos generalizados de Viaje (CGV)
- Menor ausentismo laboral
- Menor ausentismo escolar
- Disminución gastos de emergencia y limpieza

Evaluación de los beneficios por servicios ecosistémicos

a) Identificación de servicios ecosistémicos adicionales

A partir del Banco de Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN), se realizó una pre-identificación de los beneficios ecosistémicos asociados a las áreas de bioretención, categoría que incluye los jardines de lluvia, identificados como parte de la solución propuesta en el proyecto. Solución: Áreas de bioretención (jardines de lluvia)

Los jardines de lluvia propuestos en las alternativas **Cordón Verde Santiago y Terrazas Santa Rosa** buscan mejorar la capacidad de infiltración y retención de aguas lluvias. Estos jardines no solo contribuyen

a la regulación hídrica, sino que también generan una serie de beneficios ecosistémicos adicionales. Los principales servicios ecosistémicos asociados a estas áreas de bioretención son:

- a. Moderación de eventos extremos: a través de la reducción de riesgo de inundaciones
- b. Regulación hídrica: mediante la infiltración y retención de aguas lluvias
- c. Regulación del clima: al mitigar las islas de calor urbanas y capturar emisiones GEI
- d. Retención del suelo: previniendo la erosión
- e. Filtración de contaminantes: mejorando la calidad del agua
- f. Refugio de biodiversidad: proporcionando hábitat para especies nativas

b) Priorización de servicios ecosistémicos.

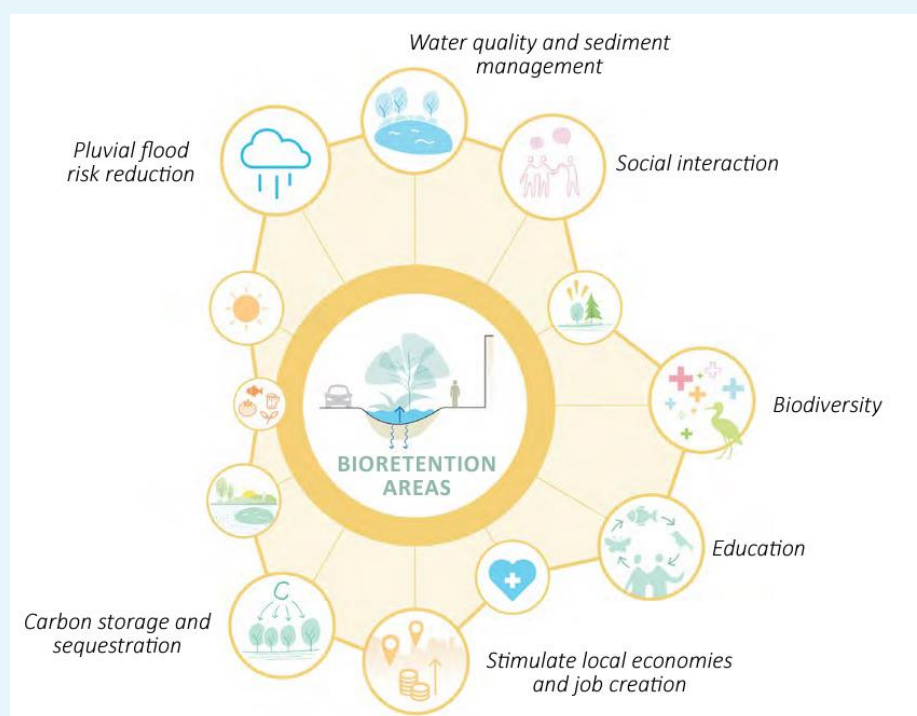
A partir de la información brindada por el Banco SbN y complementada por el levantamiento de información primaria y/o secundaria, se hace la determinación objetiva de los servicios a cuantificar y valorar; priorizando aquellos con mayor relevancia para la solución del déficit de capacidad de infiltración y retención hídrica o con mayor alcance e impacto positivo en la sociedad y el ambiente. En esta etapa se excluyen de la evaluación aquellos beneficios que no son técnico o económicamente viables de cuantificar o ya han sido abordados en la evaluación convencional del proyecto como es la moderación de eventos extremos y la regulación hídrica.

Como se puede observar en la **Figura 23**. Beneficios asociados a la implementación de áreas de bioretención, los beneficios que destacan en este tipo de soluciones son la provisión de hábitats que soporta la biodiversidad, la captura y remoción de contaminantes de las aguas de lluvia y la regulación del clima a través del secuestro de carbono.

A continuación, se evalúan los beneficios adicionales de los siguientes servicios ecosistémicos:

- c) Regulación del clima: importante para la mitigación de islas de calor
- d) Filtración de contaminantes: vital para mejorar la calidad del agua que desemboca en el Lago Llanquihue
- e) Refugio de biodiversidad: relevante para la conservación de la biodiversidad en zonas urbanas

Figura 23. Beneficios asociados a la implementación de áreas de bioretención



Fuente. Tomado de A catalogue of Nature Based Solutions for Urban Resilience (World Bank, 2021)

f) *Evaluación de servicios ecosistémicos (enfoque de indicadores)*

Regulación del clima - Indicador: disponibilidad de áreas verdes (%).

Se evalúa la proporción de superficie verde permanente en relación al área total del proyecto. Un mayor porcentaje de áreas verdes está directamente relacionado con la mitigación del efecto de isla de calor y la mejora de la calidad de vida de la población urbana. Se espera que las alternativas que presenten mayor % de áreas verdes generen mayores beneficios en la regulación del clima.

Filtración de contaminantes - Indicador: calidad de agua (%).

Se evalúa el porcentaje de muestras de agua que cumplen con la normativa chilena (NCh 1.333) en el Cajón San Francisco, tanto antes como después de la implementación de las soluciones SbN. Un mayor porcentaje de cumplimiento de las normas indica una mejora en la filtración de contaminantes gracias a los jardines de lluvia.

Refugio de biodiversidad – Índice de biodiversidad

Se evalúa la diversidad y cantidad de especies de flora y fauna presentes en el área antes y después del proyecto. Este índice incluye especies endémicas y protegidas que pueden beneficiarse de la infraestructura verde. Un mayor índice de biodiversidad reflejará la capacidad del proyecto para ofrecer hábitats a las especies nativas y mejorar la biodiversidad en la zona urbana.

Monitoreo y mejora continua

Este paso es fundamental para garantizar que los beneficios esperados de las SbN implementadas en el Proyecto Sistema de Evacuación de Aguas Lluvias Cajón San Francisco se mantengan y optimicen a lo largo del tiempo.

a) Establecimiento de Línea base

Durante la fase inicial del proyecto, se debe establecer una **línea base** para cada uno de los indicadores previamente definidos, a fin de contar con un marco de referencia para la comparación futura. Esta línea base se obtendrá mediante la recopilación de datos iniciales en el área del proyecto antes de la implementación de las SbN. Los indicadores clave y su línea base inicial son los siguientes:

- Regulación del clima: % de superficie verde actual en relación al área total. La data se obtiene a partir de cartografías y/o imágenes satelitales.
- Filtración de contaminantes. % de muestras que cumplen con la norma de calidad. El análisis se basa en datos históricos disponibles de la Dirección General de Aguas y/o la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS)
- Refugio de biodiversidad: Número y diversidad de especies registradas en el área del proyecto. Se debe realizar un levantamiento de campo para identificar las especies de flora y fauna presentes en la zona antes de la implementación de las SbN

b) Monitoreo continuo y adaptativo

Una vez implementadas las soluciones SbN, se deberá establecer un plan de **monitoreo continuo** que permita medir de forma regular los indicadores definidos y compararlos con la línea base. El objetivo del monitoreo es verificar la efectividad de las soluciones en generar los beneficios esperados y rectificar cualquier desviación. El plan de monitoreo debe incluir mínimamente la frecuencia del monitoreo y el método de recolección de datos, como se ejemplifica a continuación.

- Regulación del clima: Revisión anual de la cobertura vegetal. Para ello se utilizará el uso de imágenes satelitales, complementado con inspecciones de campo cuando se considere necesario.

- Filtración de contaminantes: Muestras de aguas semestrales en puntos estratégicos del Cajón de San Francisco. Para ello se realizarán pruebas fisicoquímicas en laboratorios certificados que sigan la NCh 1.333
- Refugio de biodiversidad. Inventarios de biodiversidad anuales con foco en especies clave y endémicas. Para ello se realizarán observaciones directas y monitoreo mediante cámaras trampa y técnicas de muestreo estandarizadas.

El monitoreo continuo no solo permite validar los beneficios generados sino también facilitar la identificación de oportunidades de mejora cuando estos indicadores no cumplen con las expectativas o cuando las condiciones externas cambian. Por ejemplo, si se observan beneficios significativos en la regulación hídrica, se podría optar por evaluar la replicación del enfoque de áreas de bioretención en otras zonas con características similares.

Caso Práctico N° 2. Infraestructura portuaria

Evaluación Económica

El proyecto utilizó la metodología de formulación y evaluación de proyectos, con enfoque costo eficiencia, con las siguientes consideraciones:

- Tasa social de Descuento: 6%.
- Vida Útil Proyecto: 25 años.
- Valores moneda 2020
- Valor Residual del 33% del Valor Inicial Social del Proyecto, en partidas no afectas al medio lacustre.

El Proyecto identificó beneficios a partir del uso esperado del Borde Costero por parte de la población de Puerto Octay, a partir de un análisis de demanda por espacios públicos de la población urbana de Puerto Octay, ajustando la propensión a desplazarse, por medio pedestre y vehicular de la población urbana y rural respectivamente, de acuerdo al comportamiento esperado para un espacio público de 10.153 M2 con áreas verdes de 5.990 M2 y considerando una disminución de visitas en función de los días con lluvia y las temperaturas máximas promedio. Esto permitió proyectar la demanda para un conjunto de actividades a desarrollar en el espacio público en promedio durante la vida útil de la infraestructura, proyectándose en 93.864 horas de uso anuales.

El cálculo de indicadores de rentabilidad VAC y CAE para una inversión social total de M\$2.734.364, costos de mantención de M\$58.333 y conservación de M\$232.511, en un horizonte de evaluación social de 25 años, con un valor residual de M\$246.366 arroja un VAC de M\$2.605.612 y un CAE de M\$203.828.

Evaluación de los servicios ecosistémicos

De forma complementaria a la evaluación económica realizada bajo el enfoque Costo-eficiencia se propone analizar los beneficios asociados a los servicios ecosistémicos que brindan las SbN aplicadas al Proyecto a nivel de paisajismo.

a) Identificación de servicios ecosistémicos

Con el uso del Banco se hizo una identificación los servicios ecosistémicos asociados a la SbN aplicada en el Proyecto “Áreas de bioretención”, las cuales son las siguientes:

- Moderación de eventos extremos
- Regulación hídrica
- Suministro de agua
- Regulación del clima

- Retención del suelo
- Filtración de contaminantes
- Refugio de biodiversidad

b) Priorización de servicios ecosistémicos

Alineado con las causas principales del problema abordado por el Proyecto vinculadas a la contaminación de los sedimentos del lago, el deterioro de las condiciones naturales y la inestabilidad causada por los suelos licuables, se prioriza la evaluación de los siguientes servicios ecosistémicos:

- Retención del suelo
- Filtración de contaminantes

c) Evaluación de servicios ecosistémicos (enfoque de indicadores)

Para la evaluación de los servicios ecosistémicos priorizados, se analizan los indicadores asociados a cada uno de ellos. Este análisis busca identificar los beneficios adicionales que no se cuantificaron inicialmente y que podrían haber agregado mayor peso al programa de paisajismo que integra Soluciones basadas en la Naturaleza. Esto permitirá una valoración más completa de los impactos positivos que proveen las SbN.

Retención del suelo

Indicador: Cobertura vegetal (%)

El área verde que incorpora el uso de especies nativas asociadas a biofiltros abarca 5.990 m², representando el 58.99% de los 10.153 m² de espacio público total del Proyecto. Se proyecta que la cobertura vegetal aumente con el tiempo, siempre que exista un adecuado plan de mantenimiento de las especies nativas. Estas especies, al ser más resilientes ante las amenazas climáticas, tienen la capacidad de expandirse de forma natural. Además, si el sistema de biofiltros y el diseño paisajístico logran adaptarse a las condiciones ambientales, es probable que se mantenga estable el área verde en el largo plazo.

Filtración de contaminantes

Indicador: Calidad de agua (%)

La excedencia de coliformes fecales (NMP/100 ml), bacterias provenientes del intestino de seres humanos y animales, es uno de los parámetros más relevantes en la evaluación de la calidad del agua del lago Llanquihue. Según la normativa chilena (NCh 1.333), el límite máximo permitido para actividades recreativas con contacto directo es de 1.000 NMP/100 ml. En este contexto, una reducción en el porcentaje de excedencia del límite normativo refleja una mejora en la filtración de contaminantes por parte de las soluciones que integran áreas de bioretención.

Monitoreo y mejora continua

Para asegurar que los beneficios esperados de las Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN) implementadas en el Proyecto “Construcción Infraestructura Portuaria Costanera de Puerto Octay” se mantengan y optimicen a lo largo del tiempo, es fundamental integrar una evaluación de los indicadores de los servicios ecosistémicos identificados previamente. Esta evaluación debe llevarse a cabo desde antes del desarrollo del Proyecto, durante su ejecución y en su fase final para monitorear e identificar puntos de mejora según sea necesario.

a) Establecimiento de Línea base

Esta línea base se obtendrá mediante la recopilación de datos iniciales en el área del proyecto antes de la implementación de las SbN. Los indicadores y su línea base inicial son los siguientes:

- Retención del suelo: % de superficie verde actual en relación al área total. La data se obtiene a partir de cartografías y/o imágenes satelitales.

- Filtración de contaminantes. Para el caso particular de coliformes fecales se evaluará el % de excedencia con el máximo permitido según la normativa chilena. El análisis se basa en datos históricos disponibles de la Dirección General de Aguas y/o la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS)
- b) Monitoreo continuo y adaptativo

Una vez implementadas las soluciones SbN, se deberá establecer un plan de **monitoreo continuo** que permita medir de forma regular los indicadores definidos y compararlos con la línea base. El plan de monitoreo debe incluir mínimamente la frecuencia del monitoreo y el método de recolección de datos, como se ejemplifica a continuación.

- Retención del suelo: Revisión anual de la cobertura vegetal. Para ello se utilizará el uso de imágenes satelitales actualizadas, complementado con inspecciones de campo cuando se considere necesario.
- Filtración de contaminantes: Toma de muestras de agua en cada e en cada estación del año, en estaciones de monitoreo previamente definidas, procurando que coincidan con los puntos de muestreo utilizados en la línea base. Para la cuantificación de coliformes fecales, se emplea empleará el "método de filtración por membrana". Este enfoque asegura que la medición de coliformes fecales sea consistente y permita comparaciones a lo largo del tiempo.

El monitoreo continuo no solo valida los beneficios obtenidos, sino que también permite identificar oportunidades de mejora cuando los indicadores no alcanzan las expectativas o las condiciones externas varían. Esto garantiza una adaptación ágil y efectiva de las medidas implementadas con el tiempo.

7. Referencias bibliográficas

- admin. (2022, junio 2). La función de la vegetación ribereña y la calidad de los ríos. *Dr. Gonzalo Castillo Campos*. <https://gonzalocastillo.com.mx/articulos/la-funcion-de-la-vegetacion-riberena-y-la-calidad-de-los-rios/>
- Agua y Agricultura. (s. f.). Qochas. Agua y Agricultura 2. Recuperado 22 de julio de 2024, de <https://aguayagricultura.iica.int/copy-of-tecnologias-1/qochas>
- American Association of State Highway and Transportation Officials. (1993). *Design of Pavement Structures*. <https://habib00ugm.wordpress.com/wp-content/uploads/2010/05/aashto1993.pdf>
- Anexo Plan Nacional de Emergencia – Amenaza Calor Extremo (2023). <https://degreyd.minsal.cl/wp-content/uploads/2023/10/Res-N1680-Anexo-Plan-Calor-extremo.pdf>
- Anexo: Tormentas de arena en Chile. (2024). En *Wikipedia, la enciclopedia libre*. https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Anexo:Tormentas_de_arena_en_Chile&oldid=156548994
- Área de Gobierno de Urbanismo y Vivienda del Ayuntamiento de Madrid. (2009, julio). *Buenas prácticas en arquitectura y urbanismo para madrid. Criterios bioclimáticos y de eficiencia energética*.
- Ayazo-Toscano, R., & Hernández-Palma, A. (2021). *Portafolio de Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) como mecanismo de mitigación y adaptación al cambio climático en las áreas rurales de Colombia*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. http://repository.humboldt.org.co/bitstream/handle/20.500.11761/35917/4.5.3%20Portafolio%20de%20SBN%20como%20mecanismo%20de%20mitigaci%C3%B3n%20y%20adaptaci%C3%B3n%20al%20cambio%20clim%C3%A1tico%20en%20%20C3%A1reas%20rurales_comOLH.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Ballarín, D., Corominas, P., Ramiro, P., Mora, D., & Santiago, J. (2023). *Evaluación de la inclusión de la restauración fluvial de los planes hidrológicos de cuenca (2022-2027). Catálogo de nuevas medidas y propuesta de nuevas actuaciones*. Centro Ibérico Restauración Fluvial(CIREF) y WWF España.
- Barrenechea Riveros, F. (2020). *ATLAS DE AMENAZAS Y DESASTRES EN CHILE*. Universidad Bernardo O'Higgins. <https://www.ubo.cl/wp-content/uploads/ATLAS-DE-AMENAZAS-Y-DESASTRES-EN-CHILE.pdf>
- BCN. (s. f.-a). *Clima y vegetación. Chile Nuestro País* [Page]. Biblioteca Del Congreso Nacional | SIIT | Clima y Vegetación. Recuperado 16 de abril de 2024, de <https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/clima.htm>
- BCN. (s. f.-b). *Clima y vegetación Región de la Araucanía* [Page]. Biblioteca Del Congreso Nacional. Recuperado 16 de abril de 2024, de <https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/region9/clima.htm>
- Biblioteca Nacional de Chile. (s. f.). *Erosión de suelos* [Memoria Chilena]. Recuperado 23 de abril de 2024, de <https://www.memoriachilena.gob.cl/602/w3-article-93720.html>
- BID. (2020). *Mejorando la Resiliencia de la Infraestructura con Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN)*. <https://publications.iadb.org/es/publications/spanish/viewer/Mejorando-la-resiliencia-de-la-infraestructura-con-soluciones-basadas-en-la-naturaleza-SbN.pdf>
- Börzel, T., & Risse, T. (2005). 9 Public-Private Partnerships: Effective and Legitimate Tools of Transnational Governance? *Complex Sovereignty: Reconstituting Political Authority in the Twenty-First Century*.
- Bravo H., R., Quintana A., J., & Reyes M., M. (eds). (2020). *Heladas. Factores, tendencias y efectos en frutales y vides*. <https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/6847>
- Cámara Chilena de la Construcción. (2024). *CChC - Cámara Chilena de la Construcción*. <https://cchc.cl/comunicaciones/noticias/cchc-y-mop-atacama-realizaran-el-primer-congreso-de-infraestructura-sustentable-en-la-region>

- Campo, A. M., Aldalur, N. B., Gil, V., Gonzáles de la Paz, L. V., Zapperi, P. A., Ramos, M. B., Ortega, N. F., Rosales, M. B., & Salvatori, A. (2013). *Efectos de viento fuerte sobre construcciones e infraestructura urbana en Ingeniero White, Argentina*. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/12459>
- Campos Caba, R. (2020, marzo 25). *¿Cuál es el origen de la precipitación en Chile?* Meteored.cl | Meteored. <https://www.meteored.cl/noticias/ciencia/tipos-de-precipitacion-origen-chile-zonas.html>
- Campos, L. (2022, mayo 31). Cuenca del río Chili, el pulmón verde de Arequipa que se ha reducido un 20%. *El Búho*. <https://elbuhu.pe/2022/05/cuenca-del-rio-chili-el-pulmon-verde-de-arequipa-que-se-ha-reducido-un-20/>
- Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia - CR2. (s. f.). Macrozonas de estudio. CR2. Recuperado 16 de abril de 2024, de <https://www.cr2.cl/acerca-del-cr2/macro-zonas-de-estudio/>
- Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia - CR2. (2015). *La megasequía 2010-2015: Una lección para el futuro*. <https://www.cr2.cl/wp-content/uploads/2015/11/informe-megasequia-cr21.pdf>
- Change, W. G. I. to the S. A. R. of the I. P. on C. (2022). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change: Technical Summary*. <https://doi.org/10.1017/9781009325844.002>
- CIREN. (2010). *Determinacion de la erosion actual y potencial de los suelos de chile*. <https://www.corma.cl/wp-content/uploads/2020/03/determinacion-de-la-erosion-actual-y-potencial-de-los-suelos-de-chile-ciren-201.pdf>
- Cities100: Medellín's interconnected green corridors. (2019, octubre). C40 Knowledge. https://www.c40knowledgehub.org/s/article/Cities100-Medellin-s-interconnected-green-corridors?language=en_US
- CityAdapt. (s. f.). *Arenal Monserrat, San Salvador: Soluciones basadas en la naturaleza*. esri. Recuperado 2 de abril de 2024, de <https://cityadapt.maps.arcgis.com/apps/PublicInformation/index.html?appid=58c2f81728f544a3a0a0bac7bee48fdb>
- CityAdapt, ONU, Euroclima, Gef, Caacid, Regatta, & Practical Action. (s. f.). *Financiamiento y Accion Climatica en Ciudades: SbN como mecanismo para la adaptación en América Latina y el Caribe*. Recuperado 9 de abril de 2024, de <https://cityadapt.com/wp-content/uploads/2023/01/Diapositivas-de-la-clase-1.pdf>
- COEFICIENTE DE DRENAJE Cd. (s. f.). *INGENIERIA CIVIL: Proyectos y apuntes teóricos-prácticos de Ingeniería Civil para compartir con ustedes*. Recuperado 19 de septiembre de 2024, de <https://www.ingenierocivilinfo.com/2011/09/coeficiente-de-drenaje-cd.html>
- Cohen-Shacham, E., Walters, G., Janzen, C., & Maginnis, S. (Eds.). (2016). *Nature-based solutions to address global societal challenges*. IUCN International Union for Conservation of Nature. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2016.13.en>
- Comarazamy, D. (2005). *Mitigacion de desastres en instalaciones de salud*. Grupo de Estabilidad Estructural (Ge2/INTEC).
- Construye2025. (2023, agosto 29). *El MOP da pasos significativos en el camino hacia la economía circular*. <https://construye2025.cl/2023/08/29/el-mop-da-pasos-significativos-en-el-camino-hacia-la-economia-circular/>
- Das, B. M. (s. f.). *Principles of Geotechnical Engineering* (Sétima). Cengage Learning.
- De Groot, R., Wilson, M., & Boumans, R. (2002). *A Typology for the Classification Description and Valuation of Ecosystem Functions, Goods and Services*. 41, 393-408. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(02\)00089-7](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(02)00089-7)
- DEUMAN. (2018). *Diagnóstico de la Vulnerabilidad de infraestructura y Medidas de Adaptación al Cambio Climático*. Ministerio de Obras Públicas.

- <https://repositoriodirplan.mop.gob.cl/biblioteca/server/api/core/bitstreams/ecdb098f-1d49-4482-98db-8a0c6158a8ea/content>
- DGAC. (s. f.). *Olas de Frío en Chile*. Oficina de Servicios Climáticos. Sección Climatológica. Dirección Meteorológica de Chile. Recuperado 23 de abril de 2024, de <https://climatologia.meteochile.gob.cl/publicaciones/documentosGenerales/olasDeFrio.pdf>
- Diario La Prensa. (2023, junio 28). *MOP y Cámara Chilena de la Construcción acuerdan alianza para la reconstrucción*. Issuu. https://issuu.com/laprensacurico/docs/28_804c9f2e48fa3e/s/undefined
- Dirección de Aeropuertos. (2011). *Manual de Desarrollo Aeroportuario 2º Edición*. Scribd. <https://es.scribd.com/document/603129204/Manual-de-Desarrollo-Aeroportuario-2011>
- Dirección de Vialidad. (s. f.). *Investigación y Calidad*. Recuperado 11 de junio de 2024, de <https://vialidad.mop.gob.cl/areasdevialidad/laboratorionacional/Paginas/investigacionycalidad.aspx>
- Dirección General de Aguas. (2015). *Atlas del Agua: Chile 2016*. DGA. <https://snia.mop.gob.cl/repositoriodga/handle/20.500.13000/4371>
- Dirección General de Concesiones de Obras Públicas. (2022). *Manual de Manejo de Areas Verdes Sostenible para Proyectos y Obras Concesionadas* [Actualización versión 2.01]. Ministerio de Obras Públicas. https://concesiones.mop.gob.cl/Documents/2022/Manual_de_Manejo_de_Areas_Verdes_Sostenible_2022.pdf
- Dirección General de Gestión del Agua y Zonas Verdes. (2024). *Anexo III. Manual de Soluciones Basadas en la Naturaleza. Plan de Fomento y Gestión de la Biodiversidad*.
- División de Estadísticas de la CEPAL. (2023). *Medición de los ingresos y la pobreza en Chile. Encuesta CASEN 2022*. https://observatorio.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/storage/docs/casen/2022/Medicion_de_la_pobreza_en_Chile_2022_v20oct23.pdf
- Eggermont, H., Balian, E., Azevedo, J. M. N., Beumer, V., Brodin, T., Claudet, J., Fady, B., Grube, M., Keune, H., Lamarque, P., Reuter, K., Smith, M., Van Ham, C., Weisser, W. W., & Le Roux, X. (2015). Nature-based Solutions: New Influence for Environmental Management and Research in Europe. *GAIA - Ecological Perspectives for Science and Society*, 24(4), 243-248. <https://doi.org/10.14512/gaia.24.4.9>
- El Acuerdo de París*. (s. f.). United Nations Climate Change. Recuperado 4 de abril de 2024, de <https://unfccc.int/es/acerca-de-las-ndc/el-acuerdo-de-paris>
- EM-DAT documentation*. (2023, abril 13). <https://doc.emdat.be/docs/data-structure-and-content/glossary/climatological-hazards/>
- ERIDANUS. (2018). *Recopilación histórica y representación espacial de eventos asociados a problemas de exceso hídrico: Inundaciones, aluviones y tsunamis*.
- ERIDANUS-PUCV. (2023, noviembre 24). *Marco Conceptual de Soluciones Basadas en la Naturaleza*.
- Eunice Rodríguez, S., Gomez Balvas, S., & López Portillo, V. (2022). *Manglares: Una alternativa económicamente viable de adaptación al cambio climático*. World Resources Institute. <https://es.wri.org/insights/manglares-una-alternativa-economicamente-viable-de-adaptacion-al-cambio-climatico>
- Evidencias de fenómenos del tipo Tornado en las costas de la VIII Región del Biobío y el Sur de Chile. (s. f.). *Servicio Meteorológico de la Armada de Chile*. Recuperado 26 de abril de 2024, de https://meteoarmada.directemar.cl/prontus_meteo/site/artic/20101214/pags/20101214135557.html
- Factor de Seguridad I SafetyCulture*. (s. f.). Recuperado 19 de septiembre de 2024, de <https://safetyculture.com/es/temas/factor-de-seguridad/>
- Fernandez, I. (2018, septiembre 11). La arquitectura bioclimática: Diseñar edificios en función de las condiciones del entorno. *Arquitectura Sostenible*. <https://arquitectura-sostenible.es/la-arquitectura-bioclimatica-disenar-edificios-en-funcion-de-las-condiciones-del-entorno/>

- Fundación Chile. (2019). *Portafolio de Medidas, Acciones y Soluciones MAS Seguridad Hídrica*.
https://fch.cl/wp-content/uploads/2019/07/seguridad-hidrica_mas.pdf
- Gálvez, J. M. (s. f.). *Movimiento Vertical y Convección, Ciclogénesis y Tipos de Ciclones*.
https://www.icao.int/NACC/Documents/Meetings/2023/SIGMET/05%20Vertical%20Motions%20and%20Cyclones_ES.pdf
- Gamble, C., Debney, A., Glover, A., Bertelli, C., Green, B., Hendy, I., Lilley, R., Nuuttila, H., Potouroglou, M., Ragazzola, F., Unsworth, R., & Preston, J. (2021). *Seagrass Restoration Handbook*. Zoological Society of London.
- García, L. (2021). *Clima marítimo, procesos de erosión/acreción y amenazas/vulnerabilidades por erosión: Caso de estudio de la Barrera costera de Puerto Velero, Departamento del Atlántico*. [Universidad del Norte].
<https://manglar.uninorte.edu.co/bitstream/handle/10584/10837/1140865689.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Garreaud, R. (2020, enero 31). *Análisis: Altiplano chileno: Cuando llueve, diluvia*. Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia - CR2. <https://www.cr2.cl/analisis-altiplano-chileno-cuando-llueve-diluvia-cr2/>
- Género y Participación Ciudadana Subsecretaría del Interior y Seguridad Pública. (s. f.). *Enfoque de Género*. Recuperado 26 de junio de 2024, de <https://generoyparticipacion.interior.gob.cl/enfoque-de-genero/>
- GIZ, & EURAC. (2017). *Suplemento de riesgo al Libro de Fuentes de Vulnerabilidad. Guía sobre cómo aplicar el enfoque del Libro de la Vulnerabilidad con el nuevo concepto de riesgo climático del IE5 del IPCC*. Sociedad Alemana de Cooperación Internacional.
https://www.adaptationcommunity.net/wp-content/uploads/2019/02/GIZ_Risk-Supplement_Spanish.pdf
- Gobierno de Chile. (2021). *Estrategia Climática de Largo Plazo de Chile. Camino a la carbono neutralidad y resiliencia al 2050*. <https://cambioclimatico.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2021/11/ECLP-LIVIANO.pdf>
- Gómez Cole, M. (2020, noviembre 24). El vaciamiento de lagos glaciales: Una mirada al fenómeno GLOF en Chile. *Fundacion Glaciares Chilenos*.
https://www.glaciareschilenos.org/?post_type=post&p=8710
- Gutiérrez Soto, M. A. (2017). *Gestión de carreteras no pavimentadas* [Masters, E.T.S.I Civil (UPM)].
<https://oa.upm.es/52693/>
- Highways, N. (2024, enero 30). *Design Manual for Roads and Bridges (DMRB)—National Highways (Worldwide)*. National Highways. <https://nationalhighways.co.uk/suppliers/design-standards-and-specifications/design-manual-for-roads-and-bridges-dmr/>
- hunter, M. (2015). *English: Tree Planting Near Stone Church and The Linc Hamilton Ontario* [Graphic]. Own work. <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Reforestation.JPG>
- I NORMA CHILENA OFICIAL NCh432.Of71. Recuperado 19 de septiembre de 2024, de https://www.academia.edu/36387060/I_NORMA_CHILENA_OFICIAL_NCh432_Of71
- Identificación de rodales de referencia próximos a la madurez en la provincia de Castellón*. (s. f.). Recuperado 18 de julio de 2024, de <https://www.biomaforestal.es/index.php/es/blog/163-identificacion-de-rodales-de-referencia-en-bosques-proximos-a-la-madurez-en-la-provincia-de-castellon>
- Impactos de las Tormentas de Arena*. (2024, abril 17). *Revista Completa*.
<https://revistacompleta.com/impactos-de-las-tormentas-de-arena/>
- Instituto Nacional de Estadísticas. (s. f.). *Proyecciones de la población*.
<https://www.ine.gob.cl/estadisticas/sociales/demografia-y-vitales/proyecciones-de-poblacion>
- IPCC. (2013). Glosario. En *Cambio Climático 2013. Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio*

- Climático (Planton S.).
https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/08/WGI_AR5_glossary_ES.pdf
- Jara Parra, I. (2023, junio 10). ¿Se está secando el Altiplano chileno? Tarapacá Insitu. <https://tarapacainsitu.cl/contenido/1847/se-esta-secando-el-altiplano-chileno>
- Kit de herramientas de resiliencia climática de EE. UU. (s. f.). *Hazards*. Recuperado 26 de abril de 2024, de <https://toolkit.climate.gov/content/hazards>
- Kooiman, J. (2003). *Governing as Governance*. SAGE.
- Kroon, A., de Schipper, M., de Vries, S., & Aarninkhof, S. (2022). Subaqueous and Subaerial Beach Changes after Implementation of a Mega Nourishment in Front of a Sea Dike. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10(8), Article 8. <https://doi.org/10.3390/jmse10081152>
- Loné, P. P. (2016, septiembre 28). *Indicadores de calidad del agua* [Text]. iAgua; iAgua. <https://www.iagua.es/blogs/pedro-pablo-lone/indicadores-calidad-agua>
- Manning, W., Scott, C., & Leegwater, E. (2021). *Restoring estuarine and coastal habitats with dredged sediment: A handbook*. Environment Agency. https://catchmentbasedapproach.org/wp-content/uploads/2021/10/Restoring-Estuarine-and-Coastal-Habitats-with-Dredged-Sediment.pdf?_gl=1*877mae*_up*MQ..*_ga*MTE4NjkzMzc4OS4xNzlwNjM2MTMz*_ga_B1593W7WQH*MTcyMDYzNjEzMS4xLjAuMTcyMDYzNjEzMS4wLjAuMA..*_ga_NY80EKWNL4*MTcyMDYzNjEzMi4xLjAuMTcyMDYzNjEzMi4wLjAuMA..
- Marejadas: La nueva preocupación para el desarrollo urbano costero. (2017, julio 18). *CITRID*. <https://citrid.uchile.cl/2017/07/18/marejadas-la-nueva-preocupacion-para-el-desarrollo-urbano-costero/>
- Maribel Hernández. (2018, septiembre 3). *Entrevista telefónica realizada a Maribel Hernández, representante oficial para Latinoamérica* [Teléfono].
- MDSyF. (s. f.). *¿Como entendemos la Participación Ciudadana?* Ministerio de Desarrollo Social y Familia. Recuperado 26 de junio de 2024, de <https://participacionciudadana.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/que-es-participacion-ciudadana>
- Mendoza-González, G., Zepeda-Centeno, C., Francisco, V., Hernández-Mendoza, D., Secaira, F., Aguirre-Fierro, J. C., & Rioja-Nieto, R. (2022). *Manual de restauración para dunas costeras de la Península de Yucatán*. ENES-Mérida.
- Michael. (2015, febrero 9). *El impacto agrícola de la sequía en el sur (Revista del Campo) | Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia—CR2*. <https://www.cr2.cl/el-impacto-agricola-de-la-sequia-en-el-sur/>
- Micu, E.-A. (2021, noviembre). La infraestructura de transporte dañada por las inundaciones tiene un impacto negativo en la recuperación: La experiencia irlandesa. *AA-Floods*. <https://aafloods.eu/es/la-infraestructura-de-transporte-danada-por-las-inundaciones-tiene-un-impacto-negativo-en-la-recuperacion-la-experiencia-irlandesa/>
- MIDEPLAN, & ONU Mujeres. (2017). *Guía sobre el enfoque de igualdad de género y derechos humanos en la evaluación*. <https://lac.unwomen.org/sites/default/files/Field%20Office%20Americas/Documentos/Publicaciones/2017/06/Guide%202%20-%20MIDEPLAN-compressed.pdf>
- Ministerio de Obras Públicas – *Certificación de Edificio Sustentable*. (2023, diciembre 29). <https://www.certificacionsustentable.cl/tag/ministerio-de-obras-publicas/>
- MINVU. (s. f.). 4.3. *Obras de Almacenamiento. Técnicas Alternativas para Soluciones de Aguas de Luvia en Sectores Urbanos*. http://serviu10.minvu.cl/documentos/Urbanismo%20y%20Construccion/Normativa%20Tecnica/aguas%20lluvias/Capitulo4_3.pdf
- Mitsch, W. (2004). *Ecological Engineering and Ecosystem Restoration Ecosystem Restoration. History, definitions, and principles*. <https://www.wec.ntut.edu.tw/var/file/95/1095/img/3006/05Mitsch.pdf>

- MMA. (s. f.). *Guía para la elaboración de planes sectoriales de adaptación*. Recuperado 2 de mayo de 2024, de https://energia.gob.cl/sites/default/files/documentos/guia_para_la_elaboracion_de_planes_sectoriales_de_adaptacion.pdf
- MMA. (2023). *Lineamiento para la incorporación de Soluciones Basadas en la Naturaleza para la Adaptación al Cambio Climático en Chile*.
- Molina Tapia, C. C. (2019). *EVALUACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA DE LA OCURRENCIA DE ALUVIONES INCORPORANDO PROYECCIONES DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA CUENCA DE LOS RÍOS EL CARMEN Y EL TRÁNSITO, CHILE* [Universidad de Chile]. <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/172882/Evaluaci%C3%B3n-hidrometeorol%C3%B3gica-de-la-ocurrencia-de-aluviones-incorporando-proyecciones.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- MMMAPA. (2023). Manual de soluciones basadas en la naturaleza del plan de fomento de biodiversidad en la ciudad de madrid. <https://mmmapa.com/portfolio/manual-de-soluciones-basadas-en-la-naturaleza-del-plan-de-fomento-de-biodiversidad-en-la-ciudad-de-madrid/>
- Mos, B., Dworjanyn, S. A., Mamo, L. T., & Kelaher, B. P. (2019). Building global change resilience: Concrete has the potential to ameliorate the negative effects of climate-driven ocean change on a newly-settled calcifying invertebrate. *Science of The Total Environment*, 646, 1349-1358. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.379>
- Nations, U. (s. f.). *Cambio climático | Naciones Unidas*. United Nations; United Nations. Recuperado 4 de abril de 2024, de <https://www.un.org/es/global-issues/climate-change>
- NOAA. (2014, febrero). *Acidificación del oceano*. <https://www.iaea.org/sites/default/files/18/06/oa-20-facts-sp.pdf>
- Ollero, A. (2015). *Guía Metodológica sobre buenas prácticas en restauración fluvial. Manual para gestores*. Centro Ibérico de Restauración Fluvial (CIREF).
- Opazo, A. (2018, noviembre 4). *Embalse Colbún se llena y abrirá sus puertas: Alertan por posibles inundaciones en zona del Río Maule*. El Ciudadano. <https://www.elciudadano.com/chile/embalse-colbun-se-llena-y-abrira-sus-puertas-alertan-por-posibles-inundaciones-en-zona-del-rio-maule/11/04/>
- Perales, S., & Calcerrada, E. (2018). *Guía básica de diseño de sistemas de gestión sostenible de aguas pluviales en zonas verdes y otros espacios públicos*. Área de Gobierno de Medio Ambiente y Movilidad, Ayuntamiento de Madrid.
- Perales-Momparler, S., & Andrés-Doménech, I. (2008). *Los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible: Una Alternativa a la Gestión del Agua de Lluvia*.
- Pica, A., Martínez, C., Marinkovic, C., Esparza, C., Larraguibel, C., Morales, D., Torres, I., Mora, J., Fariña, J. M., Salcedo, J., Flores, L., Pérez, M., Contreras-López, M., Bassi, N., Bambach, N., Melo, O., Winckler, P., Agredano, R., Vicuña, S., ... Ulloa, P. (2019). *Determinación del riesgo de los impactos del Cambio Climático en las costas de Chile*. Ministerio del Medio Ambiente. <https://cambioclimatico.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2020/04/2019-10-22-Informe-V04-CCCostas-Playas-Rev1.pdf>
- Pica-Téllez, A., Garreaud, R., Meza, F., Bustos, S., Falvey, M., Ibarra, M., Silva, M. I., Duarte, K., Ormazábal, R., & Dittborn, R. (2020). *Informe Proyecto ARCLim: Atlas de Riesgos Climáticos para Chile*. Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia, Centro de Cambio Global UC y Meteosdata para el Ministerio del Medio Ambiente. https://www.cr2.cl/wp-content/uploads/2021/03/Informe_ARCLIM_Consolidado.pdf
- Pickard, K. (s. f.). *Estuary*. Recuperado 22 de julio de 2024, de <https://education.nationalgeographic.org/resource/estuary>

- PNUD. (2023). *¿Cómo elaborar un Plan de Acción Comunal de Cambio Climático? Guía metodológica para su formulación paso a paso*. S. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. <https://educacion.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2023/06/Guia-PACCC.pdf>
- Programme, U. N. E. (2023). *Nature-based Solutions for Climate Resilient Cities: Perspectives and experiences from Latin America*. United Nations Environment Programme. <https://wedocs.unep.org/xmlui/handle/20.500.11822/44437>
- ¿Qué es el viento? Tipos, cómo se forma y efectos. (2023, junio 14). El tiempo.es. <https://www.clima.com/meteopedia/viento>
- Quinton, J. N., Krueger, T., Freer, J., Bilotta, G., & Brazier, R. E. (2011). A case study of uncertainty: Applying GLUE to EUROSEM. En R. P. C. Morgan & M. A. Nearing (Eds.), *The Handbook of Erosion Modelling* (pp. 80-97). Blackwell Publishing UK. <https://doi.org/10.1002/9781444328455.ch5>
- Rosales, A. (2017). *La Interinstitucionalidad en las Relaciones Multilaterales de la Cooperación Interregional en América Latina*. 3, 28-48.
- Ruffier-Meray, L. (2023, marzo 21). Les Solutions fondées sur la Nature en forêt sont nos alliées pour réduire les risques naturels et préserver la biodiversité. UICN France. <https://uicn.fr/les-solutions-fondees-sur-la-nature-en-foret-sont-nos-alliees-pour-reduire-les-risques-gravitaires-et-incendie-et-preserver-la-biodiversite/>
- Segura Guzman, C. (2019). *PERTURBACIONES TROPICALES/SUBTROPICALES PRECURSORAS DE CICLONES SOBRE EL PACIFICO SURORIENTAL* [Universidad de Concepción]. <https://www.dgeo.udec.cl/wp-content/uploads/2019/10/Segura-Christian-julio-2019.pdf>
- SENAPRED. (2021, marzo 1). *Marejadas*. <https://web.senapred.cl/marejadas/>
- Sepúlveda, A. (2021, septiembre 18). *Escalas de Beaufort y Douglas: ¿cómo conocer la fuerza de los vientos?* Meteored.cl | Meteored. <https://www.meteored.cl/noticias/ciencia/escalas-de-beaufort-y-douglas-como-conocer-la-fuerza-de-los-vientos-observacion.html>
- SERNAGEOMIN. (s. f.). *Aluvión Villa Santa Lucía*. SERNAGEOMIN. Recuperado 23 de abril de 2024, de <https://www.sernageomin.cl/aluvion-villa-santa-lucia/>
- Siclari Bravo, P. G. S. (2020). *Amenazas de cambio climático, métricas de mitigación y adaptación en ciudades de América Latina y el Caribe* [Documentos de Proyectos (LC/TS.2020/185)]. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/314e32aa-2bb6-4cae-bad4-f6546c3e2066/content>
- Stakeholders. (2023). *Amunas: Una técnica ancestral de siembra y cosecha de agua para hacerle frente a las sequías*. <https://stakeholders.com.pe/medio-ambiente/agua/amunas-una-tecnica-ancestral-de-siembra-y-cosecha-de-agua-para-hacerle-frente-a-las-sequias/>
- Structuralia. (2022, marzo 30). *Qué es la carbonatación del hormigón y cómo prevenirla*. <https://blog.structuralia.com/carbonatación-del-hormigón-prevención>
- UICN. (2020). *Estándar Global de la UICN para soluciones basadas en la naturaleza. Un marco sencillo para la verificación, diseño y ampliación del uso de las SbN*. Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN). <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2020-020-Es.pdf>
- UICN - Unión Internacional para la conservación de la naturaleza. (2019). *Les Solutions fondées sur la Nature pour les risques liés à l'eau en France*. <https://uicn.fr/wp-content/uploads/2020/01/sfn-light-ok.pdf>
- UICN - Unión Internacional para la conservación de la naturaleza. (2022a). *Les Solutions fondées sur la Nature pour les risques gravitaires et incendie en France*. <https://uicn.fr/wp-content/uploads/2023/03/sfn-foret-web.pdf>
- UICN - Unión Internacional para la conservación de la naturaleza. (2022b). *Les Solutions fondées sur la Nature pour les risques littoraux en France*. <https://uicn.fr/wp-content/uploads/2022/07/sfn-littoraux-web.pdf>

- Ulloa, A. O. (2011). *Eficiencia en el uso de agua de riego, como estrategia de adaptación al cambio climático*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. <https://biblioteca.inia.cl/server/api/core/bitstreams/0b791b88-2340-4c7f-8bb7-90388d9f1157/content>
- UN Environment Program. (2023, noviembre 7). *As climate changes, sand storms wreak havoc on desert communities*. UNEP. <http://www.unep.org/news-and-stories/story/climate-changes-sand-storms-wreak-havoc-desert-communities>
- UNDRR. (2023). *De las palabras a la acción—Soluciones basadas en la naturaleza para la RRD*. <http://www.undrr.org/es/publication/de-las-palabras-la-accion-soluciones-basadas-en-la-naturaleza-para-la-rrd>
- UNEP. (2014). *Green Infrastructure. Guide for Water Management*. <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/9291/-Green%20infrastructure%3a%20guide%20for%20water%20management%20%20-2014unep-dhigroup-green-infrastructure-guide-en.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Urban Green-Blue Grids. (s. f.). *Normal's uptown water circle: Waterrotonde in Normal, Illinois, US*. Recuperado 22 de julio de 2024, de <https://urbangreenbluegrids.com/projects/normals-uptown-water-circle-waterrotonde-in-normal-illinois-us/>
- US Department of Commerce, N. O. and A. A. (s. f.). *What is Ocean Acidification?* Recuperado 25 de abril de 2024, de <https://oceanservice.noaa.gov/facts/acidification.html>
- Van Zanten, B. T., Gutierrez Goizueta, G., Brander, L. M., Gonzalez Reguero, B., Griffin, R., Macleod, K. K., Alves Beloqui, A. I., Midgley, A., Herrera Garcia, L. D., & Jongman, B. (2023). *Assessing the Benefits and Costs of Nature-Based Solutions for Climate Resilience: A Guideline for Project Developers*. World Bank Group.
- van Zeijl-Rozema, A., Cörvers, R., Kemp, R., & Martens, P. (2008). Governance for sustainable development: A framework. *Sustainable Development*, 16(6), 410-421. <https://doi.org/10.1002/sd.367>
- World Bank. (2021). *A catalogue of Nature-Based Solution for Urban Resilience*. World Bank Group. <https://openknowledge.worldbank.org/bitstreams/d6ac4e40-2ff8-540c-b1f0-07ca824a33c6/download>
- WWF. (s. f.). *Glosario Ambiental*. Recuperado 24 de julio de 2024, de https://www.wwf.org.co/de_interes/noticias/glosario_ambiental/
- WWF. (2021). *Soluciones Basadas en la Naturaleza. Ciudades que lideran el camino*.
- Zona austral*. (s. f.). *Interesate por Chile*. Recuperado 16 de abril de 2024, de <https://interesate-por-chile.webnode.cl/zona-austral/>
- Zucchetti, A., Hartmann, N., Alcantara, T., Gonzales, P., Cánepa, M., & Gutierrez, C. (2020). *Infraestructura verde y soluciones basadas en la naturaleza para la adaptación al cambio climático. Prácticas inspiradoras en ciudades de Perú, Chile y Argentina*. Plataforma MiCiudad, Red AdaptChile y ClikHub. https://cdkn.org/sites/default/files/files/REPORTE-CIUDADES-VERDES-FINAL-020920_rv_compressed.pdf



www.deuman.com