

CIUDADES SENSIBLES AL AGUA

Guía de Drenaje Urbano Sostenible para la Macrozona Sur de Chile

VOLUMEN I



Ciudades sensibles al agua

Guía de drenaje urbano sostenible para la macrozona sur de Chile

Patagua, Fundación Legado Chile y Pontificia Universidad Católica de Chile
Primera Edición 2021

Esta obra se distribuye bajo una Licencia Creative Commons CC BY-NC-SA 4.0. Consulte las condiciones de la licencia en <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



No se permite el uso comercial de la obra original ni de las posibles obras derivadas, cuya distribución se debe hacer con una licencia igual a la que regula la obra original.

Sobre los Autores:

Esta guía es fruto de más de un año de trabajo colaborativo por parte de un equipo multidisciplinario de profesionales de Patagua, Fundación Legado Chile y la Pontificia Universidad Católica de Chile, a través de sus unidades Centro de Desarrollo Urbano Sustentable y Magíster de Arquitectura del Paisaje. El proyecto contó con el apoyo de Corfo y Serviu Los Lagos.



Patagua es una empresa B dedicada a la gestión integrada del agua y el territorio, a través de asesorías especializadas y proyectos innovadores que promueven la conservación de ecosistemas y el bienestar social. Una de sus principales líneas de trabajo es la recuperación y puesta en valor de espacios de agua y naturaleza urbana.



Fundación Legado Chile (FLC) es una organización sin fines de lucro que crea, gestiona y articula proyectos de conservación del patrimonio natural en la región de Los Lagos para contribuir al desarrollo sostenible del país. Entre sus ámbitos de acción destacan el diseño urbano resiliente y la educación socioambiental.



El **Centro de Desarrollo Urbano Sustentable (CEDEUS)** es un centro de investigación de la Pontificia Universidad Católica y la Universidad de Concepción, que, a través de un enfoque interdisciplinario, busca aportar a la discusión sobre los principales desafíos de sustentabilidad urbana que enfrentan las ciudades chilenas en el siglo XXI.



El **Magister de Arquitectura del Paisaje (MAPA)** es un programa académico de postgrado impartido por la Escuela de Arquitectura de la Pontificia Universidad Católica de Chile, orientado a consolidar competencias de investigación y proyecto en arquitectura del paisaje e infraestructura verde, conformado por un equipo de docentes reconocido y formado a nivel nacional e internacional.

Cita Sugerida:

Patagua, Fundación Legado Chile & Pontificia Universidad Católica de Chile. (2021). Ciudades sensibles al agua. Guía de drenaje Urbano Sostenible para la Macrozona Sur de Chile.

Edición, diseño y diagramación:



Indaga es una consultora especializada en el desarrollo integral de estrategias, campañas y productos comunicacionales asociados a la sostenibilidad, el medio ambiente, la cultura y la ciencia.

EQUIPO

Dirección de Proyecto

Camila Teutsch Barros

Hidrología e Hidráulica

Juan Carlos Domínguez Vilaza

Teresita Scheuch Pereira

Jorge Gironás León

Clima y Calidad de Agua

Felipe Briceño Jacques

Catalina Vattuone Troncoso

Infraestructura Verde

Andrés Riveros Cristoffanini

Tomás Gárate Silva

Inés Provoste Torres

Osvaldo Moreno Flores

Cartografía y SIG

Javiera Carraha Molina

Francisca Riveros Cristoffanini

Edición, Diseño y Diagramación

Tomás Valdivieso Sierpe

Julieta Torres Etcheberry

Agradecimientos

Los autores agradecemos a todas las personas y organizaciones que contribuyeron en distintos momentos al desarrollo de este trabajo:

A los representantes de instituciones públicas y privadas que participaron del proceso inicial de entrevistas para contextualizar las brechas y oportunidades asociadas a la implementación de sistemas de drenaje urbano sostenible en Chile en general, y en la macrozona sur en particular: Robinson Díaz (Dirección de Obras Hidráulicas, Región de Los Lagos); Sigisfredo Ojeda (Servicio de Vivienda y Urbanización, Región de Los Lagos); Álvaro Cumilef (Ilustre Municipalidad de Llanquihue); Francisco Acuña, Carolina Jara y Claudia Salazar (Ilustre Municipalidad de Valdivia); Patricio Bahamondes (MNK Inmobiliaria); y Mauricio Gárate (EBCO Inmobiliaria).

Al grupo de especialistas externos que participaron en la evaluación de funciones hidrológicas y servicios ecosistémicos de los elementos de infraestructura verde presentados en el Volumen II de esta guía: Alexis Vásquez (Departamento de Geografía, Universidad de Chile), Ángela Mimica (Facultad de Arquitectura y Artes, Universidad Austral de Chile), Bárbara Corrales (Parques Australes), Carolina Rojas (Centro de Desarrollo Urbano Sustentable CEDEUS, Pontificia Universidad Católica de Chile), Diego Urrejola (Fundación Cosmos), Flavio Sciaraffia (GeoAdaptive, Coastal Solution Fellow Cornell University), Francisco Vásquez (investigador independiente), Joaquín Aguirre (consultor independiente), Lina Castro (Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Técnica Federico Santa María) y María Luisa Cruzat (Consultora Mejores Prácticas).

A los profesionales que apoyaron la investigación y generación de datos: Claudia Villarroel (Oficina de Cambio climático, Dirección Meteorológica de Chile); Martín Jacques Coper (Departamento de Geofísica, Universidad de Concepción; Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)2, Universidad de Concepción); Christian Segura (Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)2, Universidad de Concepción); Carol Yubano e Iván Rogel (Dirección de Obras Portuarias, Región de Los Lagos); Fernando Díaz (Oficina Nacional de Emergencia); Cristián Henríquez (Centro de Desarrollo Urbano Sustentable CEDEUS, Pontificia Universidad Católica de Chile); Alberto Fernández (Patagua); Inao Vásquez (Fundación Legado Chile); y Sebastián Arteaga (estudiante de ingeniería civil, Universidad Católica de Chile).

CIUDADES SENSIBLES AL AGUA

Guía de drenaje urbano sostenible para la macrozona sur de Chile

Volumen I

Marco conceptual, estratégico, regulatorio y territorial para la
aplicación del drenaje urbano sostenible

Índice

6 **Glosario**

11 **Introducción:** Ciudades sensibles al agua: una invitación a cambiar la mirada

17 **Volumen I:** Marco conceptual, estratégico, regulatorio y territorial para la aplicación del drenaje urbano sostenible

18 **Sección A:** Marco conceptual

- 19 1. Conceptos clave
- 26 2. El drenaje urbano sostenible como enfoque para ciudades resilientes
- 38 Referencias

40 **Sección B:** Marco estratégico y regulatorio

- 41 1. El drenaje urbano sostenible en el contexto internacional: marco estratégico y referentes
- 50 2. Principales normativas e instrumentos estratégicos para el drenaje urbano sostenible en Chile
- 62 3. Brechas, desafíos y oportunidades para el drenaje sostenible en Chile
- 73 Referencias

74 **Sección C:** Contexto macrozonal

- 75 1. Caracterización climática, hidrológica e hidrográfica
- 91 2. Cambio climático, amenazas y riesgos
- 98 3. Infraestructura verde identificada en la macrozona sur
- 111 Referencias

Glosario

Conceptos Clave

Antrópico: Adjetivo que se utiliza para designar algo hecho por, o enfocado en, el ser humano.

Batimetría: Estudio del relieve de un fondo lacustre o marino.

Calidad del agua: Conjunto de variables físicas, químicas y biológicas que pueden ser aceptables o inaceptables para cumplir con los estándares preestablecidos para un determinado uso (p. ej. agua potable, producción agrícola, generación hidroeléctrica, conservación de la biodiversidad, entre otros usos).

Cambio climático: Cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables (CMNUCC, 1992).

Ciudades resilientes: Centros urbanos que cuentan con una mejor capacidad de enfrentar el impacto del cambio climático y recuperarse de sus efectos (Muñoz et al., 2019).

Cuerpos o espacios azules: Espacios naturales o artificiales al aire libre que cuentan con agua de manera prominente.

Cuerpos o espacios verdes: Espacios naturales o artificiales al aire libre que cuentan con vegetación de manera prominente.

Cuerpos receptores: Masas de agua, tanto de agua dulce como marinas, asociadas a la red natural de drenaje que se ven influenciadas tanto por la escorrentía originada aguas arriba, como por descargas de residuos sólidos y/o líquidos de las cuencas aportantes.

Curva de nivel: Líneas que en la superficie de un terreno, unen los puntos de elevación (cotas) con respecto a un plano de referencia, comúnmente, la altura media con respecto al nivel del mar.

Drenaje Urbano Sostenible: Conjunto de medidas, soluciones, tecnologías y técnicas usadas para manejar las aguas lluvias de una ciudad, predominantemente a partir de infraestructura verde, con el fin de replicar tan cercanamente como sea posible su sistema natural de drenaje y potenciar los servicios ecosistémicos asociados a sus espacios de agua y naturaleza.

Eutrofización: Proliferación de algas en un cuerpo de agua producto de un exceso de nutrientes, que trae como consecuencia la disminución del oxígeno disuelto en el agua y pone en riesgo la vida de distintas comunidades acuáticas.

Exposición: La presencia de personas, medios de subsistencia, servicios, infraestructura, o activos económicos, sociales o culturales en lugares que podrían verse afectados negativamente (p. ej. número de viviendas expuestas).

Gobernanza: Interacciones, acuerdos o mecanismos para abordar desafíos colectivos, idealmente bajo principios de participación y colaboración.

Impactos intermedios: Eventos potencialmente peligrosos que pueden verse influenciados por medidas o actividades sobre un sistema.

Índice Topográfico de Humedad: Indica el nivel de concentración de la humedad o acumulación del agua en un punto de interés. A mayor humedad, mayor es la probabilidad de saturación de los suelos.

Infraestructura gris: Infraestructura convencional de drenaje, orientada a la evacuación rápida de las aguas lluvias (p. ej. sumideros, colectores subterráneos, canales, etc.).

Infraestructura verde: Componentes del paisaje urbano capaces de cumplir funciones hidrológicas y prestar servicios ecosistémicos relevantes para favorecer la resiliencia de centros urbanos.

Macrozona sur: Territorio comprendido por las regiones del Biobío, La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos en el sur de Chile.

Medidas preventivas o no estructurales: Son todas las medidas que promueven el tratamiento, la infiltración, la evaporación y la evapotranspiración del agua lluvia en el sitio donde cae, manteniendo a su vez un paisaje más natural y funcional.

Medidas estructurales: Son todas las medidas físicas o construcciones que reducen o evitan el riesgo asociado a las aguas lluvias.

Modelo superficial y subterráneo acoplado: Modelo que integra la simulación de procesos superficiales y subterráneos a través de la transferencia de información entre dos modelos (uno superficial y otro subterráneo) existentes. Al acoplarse, el modelo superficial impacta en el subterráneo y viceversa.

Modelo Digital de Elevación (MDE): Representación visual y matemática de los valores de altura que permite caracterizar las formas del relieve. También conocido por su acrónimo DEM, el que se desprende del concepto en inglés.

Modelo de Simulación Continua: Modelo que simula la transformación lluvia-escorrentía por un largo periodo de tiempo. Se dispone de una serie continua de varios eventos de precipitación.

Modelo de Simulación por Eventos: Modelo de transformación lluvia-escorrentía que utiliza tormentas especiales seleccionadas según periodo de retorno.

Peligros climáticos: Corresponden a las amenazas derivadas de la ocurrencia de fenómenos climáticos extremos repentinos o tendencias climáticas paulatinas que podrían generar impactos físicos directos. Por ejemplo, eventos de precipitaciones intensas. Los peligros son influenciados por la variabilidad natural del clima y por los cambios producto de la actividad antropogénica (cambio climático).

Periodo de retorno: Tiempo esperado entre la ocurrencia de dos eventos (meteorológicos o hidrológicos) que superan una magnitud determinada. También se conoce como periodo de recurrencia.

Plan Maestro de Aguas Lluvias: Instrumento de planificación de la infraestructura para el manejo de las aguas lluvias, definiendo para ello la red primaria del sistema de evacuación y drenaje de un centro poblado.

Precipitación base: Corresponde a la magnitud del evento de precipitación representativo de cierto percentil de tormentas en un área (entre 70 y 90) y que suele no estar relacionada con la precipitación anual total de una zona.

Red domiciliaria de drenaje de AALL: Parte del sistema de gestión de las aguas lluvias que queda al interior de domicilios y pertenece a privados.

Red natural de drenaje de AALL: Corresponde a los cuerpos de agua que forman parte del drenaje natural de una cuenca y actúan como receptores finales.

Red primaria de drenaje de AALL: Corresponde a todo aquello que queda descrito en los planes maestros de aguas lluvias y que, por tanto, depende directamente del MOP a través de la DOH.

Red secundaria de drenaje de AALL: Todo el espacio físico por el que transitan las aguas lluvias desde que dejan la red domiciliaria hasta que ingresan a la red primaria o red natural.

Resiliencia: Capacidad de un sistema para recuperar su estado inicial después de haber sido perturbado.

Riesgo climático: Potencial ocurrencia de un desastre dada la existencia de una amenaza climática en un territorio y la presencia de personas, viviendas, infraestructura y/o ecosistemas susceptibles a sufrir impactos negativos.

Servicios ecosistémicos: Contribución directa e indirecta de los ecosistemas al bienestar humano (TEEB, 2010).

Sostenible: Adjetivo que hace alusión a la capacidad de un elemento o sistema de cumplir una función u objetivo en el tiempo, garantizando el cuidado del medio ambiente y el bienestar social.

Volumen de captura: Cantidad de escorrentía que se genera en la red domiciliaria y secundaria, que debe ser manejada antes de su descarga aguas abajo, con el objetivo de limitar el número de eventos que generan escorrentía.

Vulnerabilidad: Propensión o predisposición de aquello expuesto a ser afectado negativamente producto de la susceptibilidad del sistema al daño y la falta de capacidad de respuesta y adaptación (p. ej. alta superficie impermeable).

Elementos de infraestructura verde

Avenida parque: Corresponden a los ejes viales públicos y privados (comúnmente contruidos de materiales impermeables) incluyendo sus calzadas, aceras, ciclovías, caminos peatonales, bandejones y todos aquellos otros elementos presentes hasta la línea oficial de edificación. Se diferencian de las calles y pasajes por poseer bandejones centrales, mayores espacios de áreas verdes y por ser elementos de carácter más continuo.

Calles urbanas: Corresponden a los ejes viales públicos y privados (comúnmente contruidos de materiales impermeables) incluyendo sus calzadas, aceras, ciclovías, caminos peatonales, bandejones y todos aquellos otros elementos presentes hasta la línea oficial de edificación.

Bordes de lago: Borde urbano de grandes extensiones de agua dulce con espejo de agua permanente.

Espacios urbanizados: Áreas urbanizadas con alto potencial para el manejo de aguas lluvias a nivel de escala domiciliaria.

Estacionamientos: Áreas públicas y privadas de gran tamaño destinadas al estacionamiento de vehículos de distinto tipo. Generalmente contruidos en su totalidad con asfalto u hormigón.

Estero y arroyo: Comúnmente identificados como ríos de menores dimensiones.

Humedal urbano: Todas aquellas extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas, sean estas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina, cuya profundidad en marea baja no exceda los seis metros y que se encuentren total o parcialmente dentro del límite urbano (Ley 21.202, 2020, Artículo N°1).

Parques o bosques urbanos: Espacios urbanos de vasta vegetación (tanto nativa como exótica), que suelen ser utilizados con fines recreativos, culturales y como áreas de protección de la biodiversidad.

Plazas de barrio: Espacios de recreación comunitaria caracterizados por mantener áreas verdes con vegetación de distintos tipos e infraestructura de esparcimiento (bancas, juegos infantiles, caminos peatonales, entre otros). Su escala es menor que la de parques o bosques urbanos.

Quebrada: Ejes de drenaje en los que el agua fluye de manera encajonada entre montañas o lomas, dando origen a cortes en forma de "V" (Patagua, 2018).

Redes de ferrocarriles: Elementos de vialidad lineal sobre los cuales transitan trenes y ferrocarriles, que tienden a cruzar los centros urbanos.

Río: Área comprendida por los cursos de agua que fluyen sobre cauces y las riberas que los contienen.

Rotondas: Elementos de intersección de la trama vial de distintos tamaños en que los flujos vehiculares acceden desde distintas ramas y maniobran al interior de un anillo vial que las conecta.

Acrónimos

AALL: Aguas Lluvias

APR: Agua Potable Rural

BCN: Biblioteca del Congreso Nacional de Chile

CAC: Comité Ambiental Comunal

CC: Cambio Climático

CCME WQI: Índice de Calidad de Agua Ambiental del Consejo de Ministros de Canadá

CEDEUS: Centro de Desarrollo Urbano Sustentable

CGM: Modelos de Circulación General de la atmósfera

CIREN: Centro de Información de Recursos Naturales

CMNUCC: Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático

CR2: Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia

DGA: Dirección General de Aguas

DIA: Declaración de Impacto Ambiental

DMC: Dirección Meteorológica de Chile

DOF: Departamento de Obras Fluviales de la DOH

DOH: Dirección de Obras Hidráulicas del MOP

DOM: Dirección de Obras Municipales

DUS: Drenaje Urbano Sostenible

EAE: Evaluación Ambiental Estratégica

EIA: Estudio de Impacto Ambiental

EPA: Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos

ERD: Estrategia Regional de Desarrollo

FPA: Fondo de Protección Ambiental del MMA

GDB: Geodatabase

GORE: Gobierno Regional

IC: Infraestructura Crítica

ICA: Índice de Calidad del Agua

ICC: Índice de Cambio Climático

IDE: Infraestructura de Datos Geoespaciales de Chile

INE: Instituto Nacional de Estadística

IPCC: Panel Intergubernamental de Cambio Climático

IPT: Instrumentos de Planificación Territorial

ITH: Índice Topográfico de Humedad

IV: Infraestructura Verde

LGUC: Ley General de Urbanismo y Construcciones

LID: Low Impact Development

MDE: Modelos Digitales de Elevación

MIDESO: Ministerio de Desarrollo Social

MINVU: Ministerio de Vivienda y Urbanismo

MMA: Ministerio del Medio Ambiente

MOP: Ministerio de Obras Públicas

NSCA: Norma Secundaria de Calidad del Agua

OCDE: Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico

ODS: Objetivos de Desarrollo Sostenible

OGUC: Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones

OMS: Organización Mundial de la Salud

ONEMI: Oficina Nacional de Emergencia

ONG: Organización No Gubernamental

PLADECO: Plan de Desarrollo Comunal

PM: Plan Maestro de Aguas Lluvias

PNUD: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo

PRC: Plan Regulador Comunal

PRI: Plan Regulador Intercomunal

PRM: Plan Regulador Metropolitano

PROT: Plan Regional de Ordenamiento Territorial

RCA: Resolución de Calificación Ambiental

RILES: Residuos Industriales Líquidos

RSH: Registro Social de Hogares

SAT: Sistema de Alerta Temprana

SCAM: Sistema de Certificación Ambiental Comunal

SEA: Servicio de Evaluación Ambiental

SEIA: Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental

SEREMI: Secretaría Regional Ministerial

SERVIU: Servicio de Vivienda y Urbanización

SSEE: Servicios ecosistémicos

SUDS: Sustainable Urban Drainage Systems

SWMM: Storm Water Management Model

SII: Servicio de Impuestos Internos

SIG: Sistemas de Información Geográfica

USGS: U.S. Geological Survey's

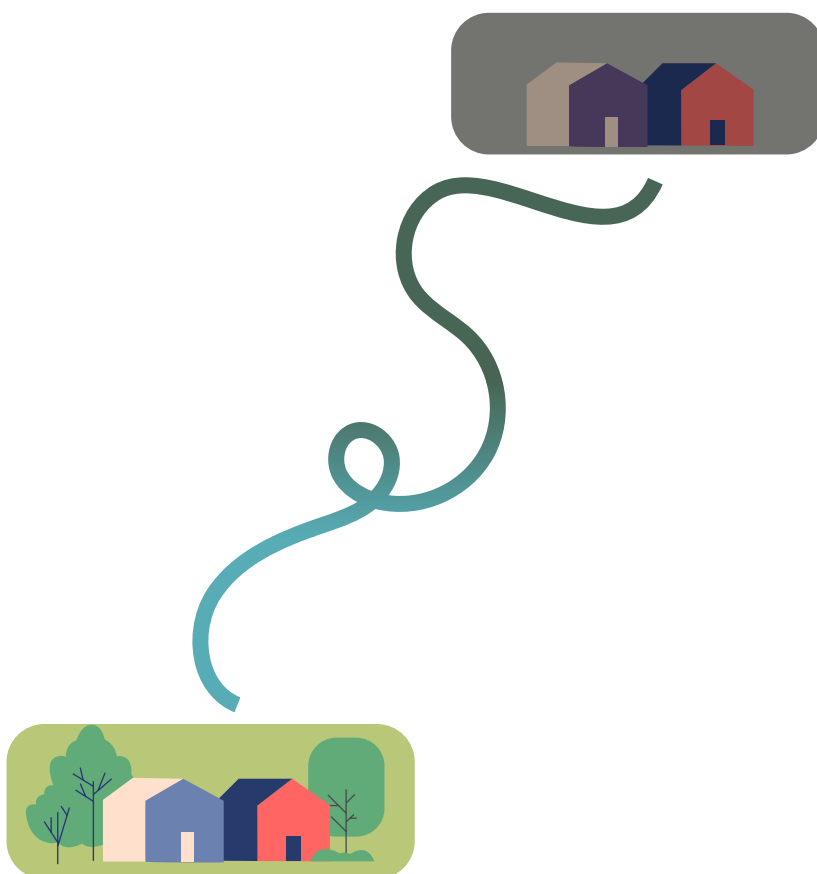
VC: Volumen de captura

WSUD: Water Sensitive Urban Design

INTRODUCCIÓN

Ciudades sensibles al agua

Una invitación a cambiar la mirada



Por mucho tiempo, el agua en la ciudad ha sido abordada como un problema a resolver más que como un valor a resguardar. Humedales, quebradas, esteros y tantos otros elementos del paisaje de la macrozona sur de Chile han sufrido los impactos negativos –y en algunos casos irreparables– de un paradigma que niega el agua y sus espacios, desconociendo los servicios ecosistémicos esenciales que estos brindan, y aumentando la vulnerabilidad de las ciudades frente a episodios intensos de precipitación.

Bajo este paradigma, los sistemas convencionales de drenaje –basados en infraestructura gris– se han diseñado tradicionalmente con el único objeto de evacuar las aguas lluvias lo más rápidamente posible, contribuyendo a perpetuar un modelo de desarrollo urbano basado en la impermeabilización del suelo y la pérdida de valiosos espacios de naturaleza. La alteración del ciclo hidrológico producto de la reducción de la capacidad de infiltración y evapotranspiración en entornos urbanos, se traduce en un aumento de la escorrentía que acrecienta el riesgo de inundación, erosión y contaminación. Para muchas ciudades del sur de Chile, estos desafíos son ya una realidad que exige medidas urgentes, con una mirada integral y de largo plazo.

En este contexto, los sistemas de drenaje urbano sostenible –basados predominantemente en infraestructura verde, y ampliamente validados por países desarrollados– aparecen como una solución eficiente para gestionar las aguas lluvias y contribuir, simultáneamente, al cuidado y recuperación de espacios de naturaleza urbana, tanto para el disfrute de las personas como para la conservación de la biodiversidad.

Esta guía es una invitación a cambiar la mirada para transitar del gris al verde en la conceptualización de los sistemas de drenaje, resignificando el agua y sus espacios en la ciudad para aportar al desarrollo de entornos urbanos sostenibles y resilientes.

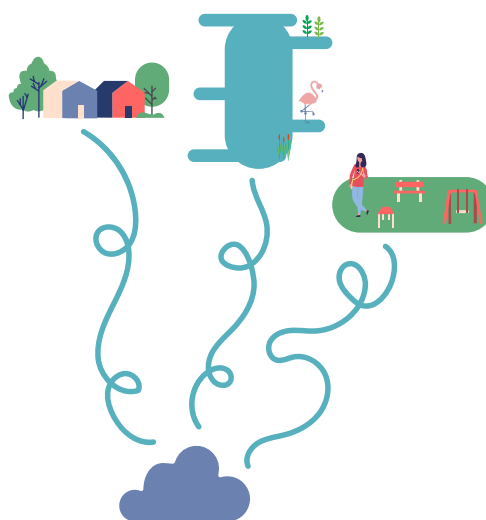
¿En qué consiste esta guía y para qué es útil?

Esta guía busca acercar el concepto de drenaje urbano sostenible y ofrecer herramientas para orientar su implementación, para lo cual se estructura en tres volúmenes correlativos:

Volumen I

MARCO CONCEPTUAL

Presenta el marco conceptual para la aplicación del drenaje urbano sostenible, incluyendo la forma en que este enfoque ha sido abordado en el mundo, sus beneficios respecto a los sistemas convencionales de drenaje, el marco estratégico y normativo global y nacional para su implementación, y el contexto macrozonal actual.

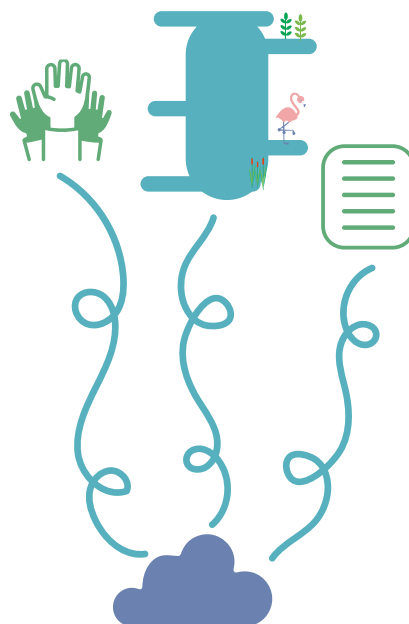


Volumen II

PROPUESTA METODOLÓGICA

Presenta las etapas metodológicas para guiar el proceso de planificación, diseño, habilitación y sostenibilidad de sistemas de drenaje urbano sostenible, con énfasis en proyectos a escala de ciudad o barrio (aunque útiles también para escalas menores, como lotes o pequeñas urbanizaciones).

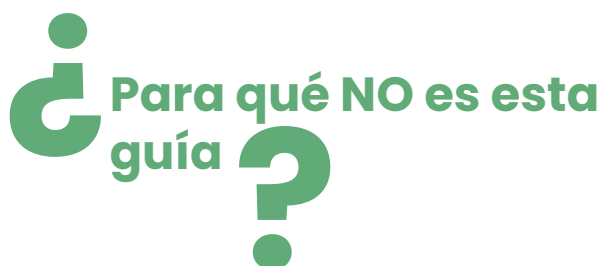
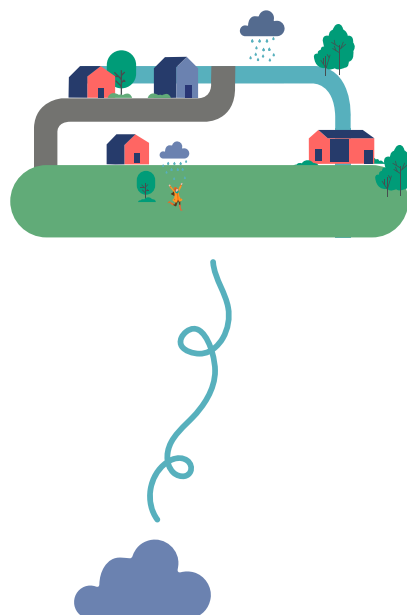
Incluye recomendaciones para optimizar elementos de infraestructura verde típicamente presentes en ciudades del sur de Chile, con el fin de potenciar su capacidad de cumplir funciones hidrológicas y ofrecer servicios ecosistémicos, así como una descripción paso a paso y recomendaciones para modelar escenarios actuales y optimizados de drenaje urbano.



Volumen III

CASO APLICADO

Presenta el caso aplicado de la propuesta metodológica, correspondiente a la ciudad de Llanquihue en la región de Los Lagos. Para este caso piloto, que destaca por la presencia de una red interconectada de humedales con influencia significativa de aguas subterráneas, se ha desarrollado un modelo acoplado de interacción entre flujos superficiales y subterráneos de aguas lluvias que se somete a una serie continua de precipitaciones. Este modelo puede ser adaptado para otros centros urbanos que comparten esta condición en la macrozona.



Esta guía no entrega especificaciones técnicas para el dimensionamiento, diseño y cálculo estructural de obras y componentes de drenaje urbano, dado que ya existen excelentes referentes nacionales e internacionales en estas materias, varios de los cuales aparecen citados a lo largo del texto.

¿Para quién es esta guía?

Esta guía está orientada a un amplio espectro de usuarios, que participan desde múltiples roles en la **planificación, diseño, ejecución y mantenimiento de proyectos vinculados al drenaje urbano y la gestión de aguas lluvias** a distintas escalas. Dada la multifuncionalidad de los sistemas de drenaje sostenible, la guía será también de utilidad para diversos actores involucrados en la **planificación urbana en general, y en el diseño de espacio público y áreas verdes en particular.**

1

ORGANISMOS PÚBLICOS



Usuarios como los Gobiernos Regionales (GORE), Subsecretarías de Desarrollo Regional (SUBDERE), Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU), Servicios de Vivienda y Urbanismo (SERVIU) y Ministerio de Obras Públicas (MOP) encontrarán en esta guía los principios de drenaje urbano sostenible deseables de incluir como requisitos mínimos asociados a proyectos de inversión pública.

- **GORE** podrán considerar estos principios en la elaboración y revisión de instrumentos de planificación territorial (IPT).
- **MOP y SERVIU** podrán incorporar estos lineamientos en la elaboración de Planes Maestros de Aguas Lluvias y proyectos asociados a las redes secundarias de drenaje, respectivamente.
- **MINVU** podrá incluir estos criterios en el diseño de áreas verdes.
- **Ministerio de Medio Ambiente (MMA)** podrá considerar estos lineamientos en la elaboración de planes y estrategias de adaptación climática.

2

MUNICIPALIDADES



Los gobiernos locales encontrarán en esta guía los criterios de drenaje urbano sostenible deseables de incorporar a través de distintas unidades técnicas.

- **Direcciones de Obras Municipales (DOM)** podrán incorporarlos entre las exigencias para otorgar permisos de obras y edificación.
- **Secretarías de Planificación Comunal (SECPLA)** podrán incluirlos en el desarrollo de IPT, así como en el diseño de proyectos y bases de licitación asociados a sistemas de drenaje, espacio público y áreas verdes.
- **Oficinas de Medio Ambiente, Aseo y Ornato** podrán incorporarlos en el diseño y mantenimiento de áreas verdes.

3

DESARROLLADORES PRIVADOS

Empresas inmobiliarias, constructores y desarrolladores en general, encontrarán en esta guía los criterios de drenaje urbano sostenible que serán deseables de considerar en el diseño e implementación de proyectos urbanos, particularmente a escala de red domiciliaria y, en algunos casos, secundaria.

4

CONSULTORES Y MODELADORES

Este segmento de usuarios encontrará en esta guía los criterios técnicos asociados a la planificación, diseño, implementación y mantención de sistemas de drenaje sostenible, incluyendo recomendaciones específicas para la modelación hidráulica de los principios propuestos de optimización de la infraestructura verde.

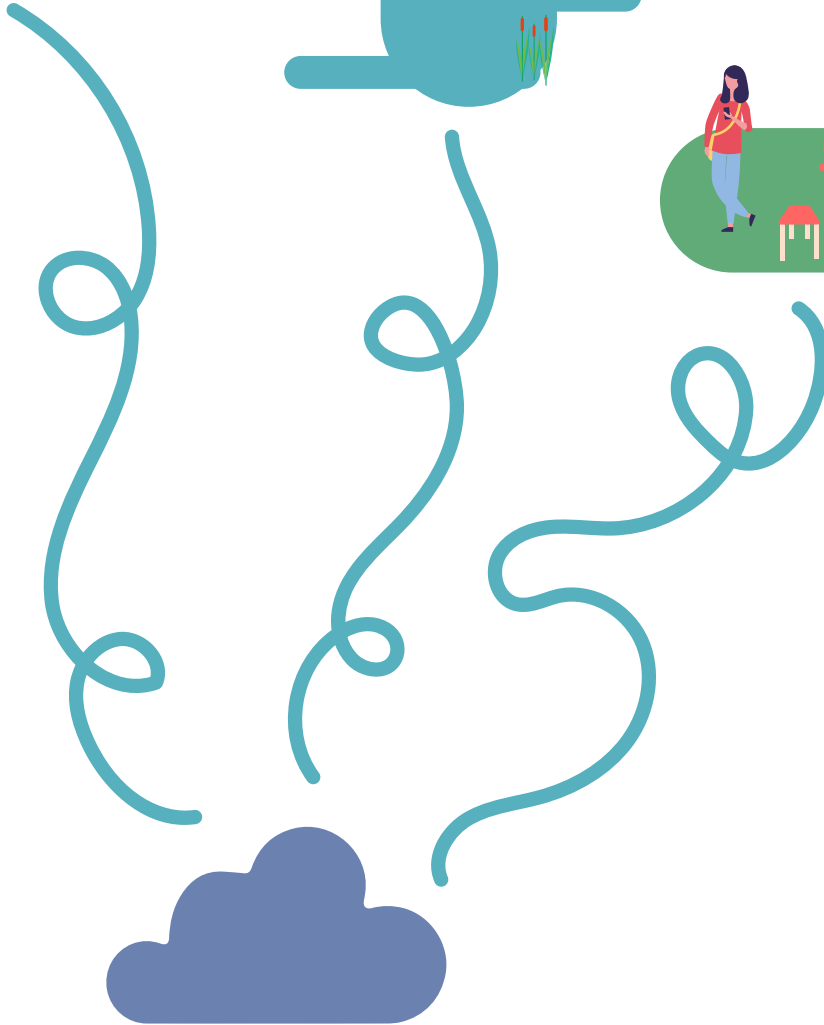
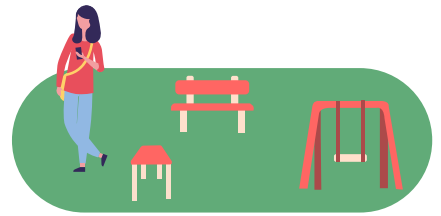
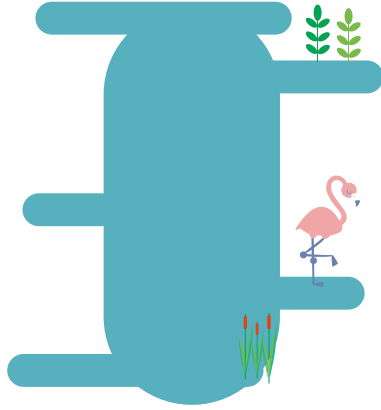


A lo largo del Volumen II, este ícono permitirá identificar aquellas secciones de particular interés para los modeladores.

5

PÚBLICO GENERAL

Personas y organizaciones con interés en la planificación urbana en general, y en los sistemas de drenaje urbano en particular, encontrarán en esta guía un marco conceptual que les permitirá aproximarse al drenaje urbano sostenible (DUS) de manera simple, y contenidos técnicos para profundizar en aquellos aspectos que les resulten más relevantes.



VOLUMEN I

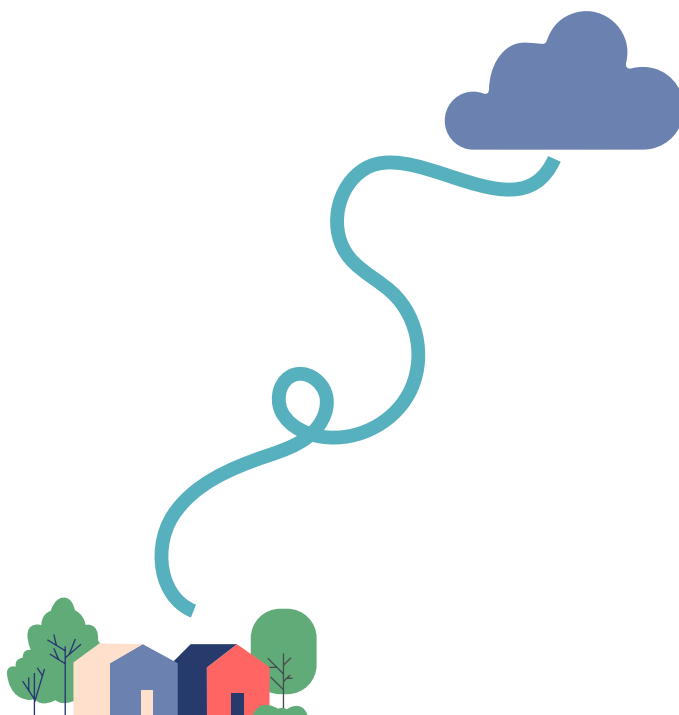
**Marco conceptual, estratégico,
regulatorio y territorial para la
aplicación del drenaje urbano
sostenible**

SECCIÓN A

Marco conceptual

1

Conceptos Clave



¿Qué es el drenaje urbano sostenible y en qué se diferencia del enfoque tradicional para la gestión de aguas lluvias? ¿Qué es la infraestructura verde? Este capítulo presenta estos conceptos clave y sus principales enfoques a nivel global, a la vez que describe las funciones hidrológicas y los servicios ecosistémicos asociados a sistemas de drenaje sostenible basados en infraestructura verde.

¿Qué es el drenaje urbano sostenible?

Enfoques a nivel global

Para efectos de esta guía, se entenderá el **drenaje urbano sostenible (DUS)** como el conjunto de medidas, soluciones, tecnologías y técnicas usadas para manejar las aguas lluvias (AALL) de una ciudad, predominantemente a partir de **infraestructura verde (IV)**, con el fin de replicar tan cercanamente como sea posible el sistema natural de drenaje y potenciar los servicios ecosistémicos asociados a los espacios de agua y naturaleza.

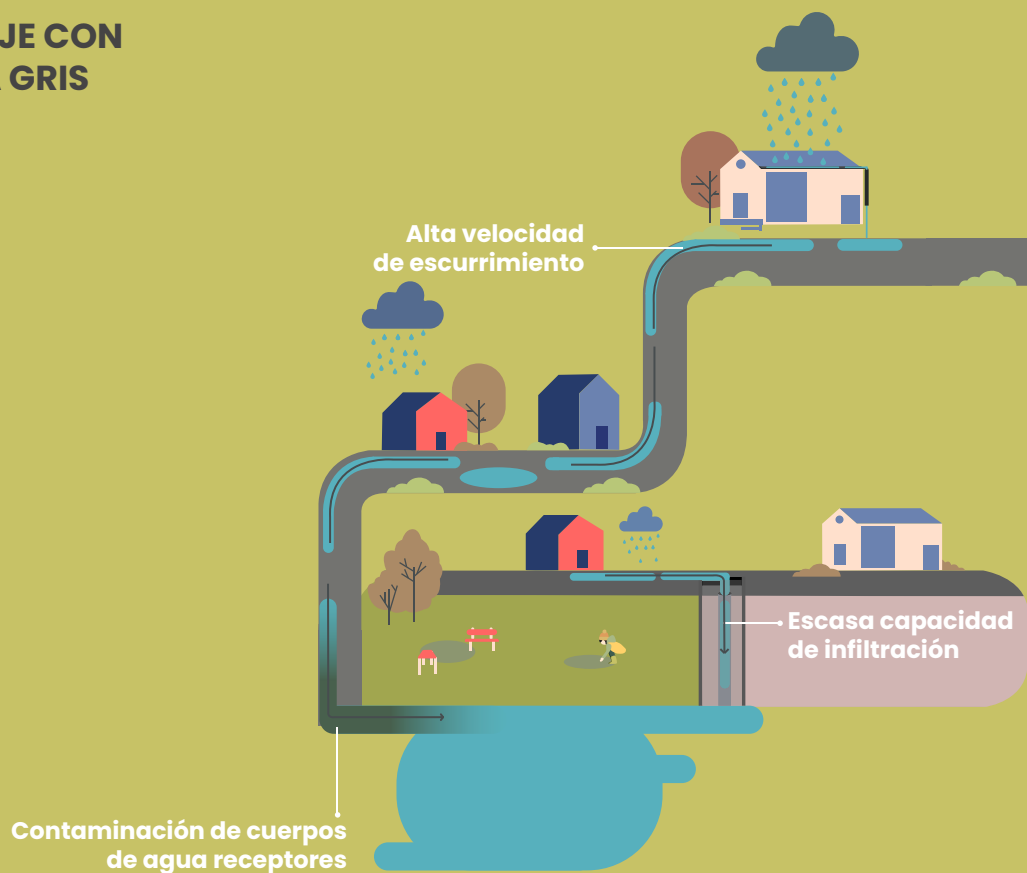
Esta mirada de los sistemas de drenaje urbano trasciende disciplinas y reconoce el potencial de los espacios de valor natural existentes en el territorio desde sus características multifuncionales.

El enfoque tradicional y predominante en Chile en los sistemas de drenaje urbano se basa en el uso de **infraestructura gris** (sumideros, colectores subterráneos, entre otros), cuyo objetivo es evacuar las aguas lluvia de un lugar de la manera más rápida posible. Dicho enfoque contribuye a la protección de las personas y la infraestructura, pero en desmedro del ecosistema que los rodea, ya que aumenta las velocidades de escurrimiento, disminuye la capacidad de infiltración de la red y la recarga de acuíferos, aumentando la contaminación de los cuerpos de agua receptores e intensificando el patrón de urbanización. Así, la transición hacia sistemas de drenaje urbano más sostenibles se ha vuelto clave.

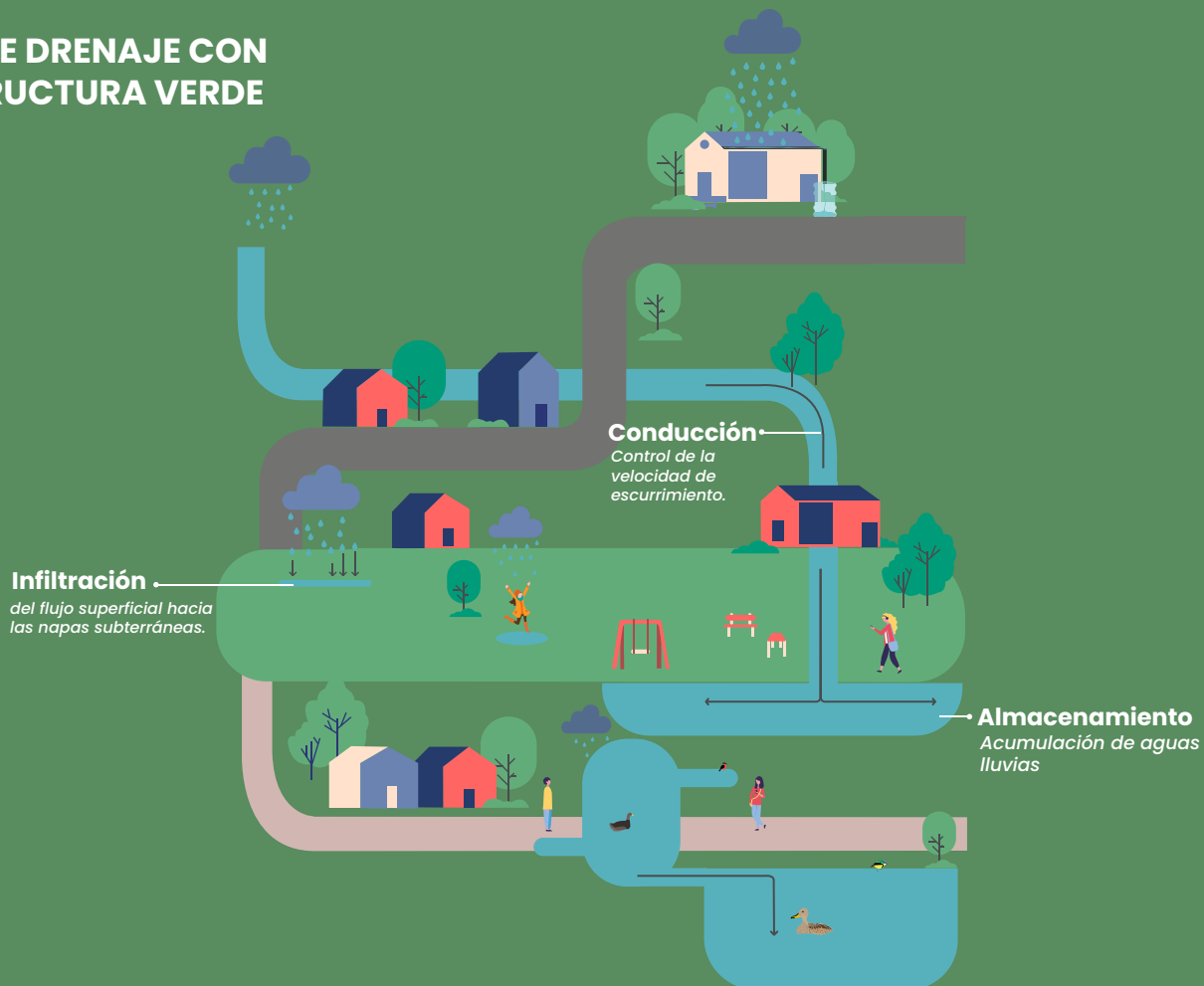
A lo largo de esta guía se utilizará el término “**elementos de infraestructura verde**” para hacer referencia a todos aquellos **componentes del paisaje urbano capaces de cumplir funciones hidrológicas y prestar servicios ecosistémicos relevantes en la red de drenaje, especialmente de centros urbanos**. Algunos ejemplos de estos elementos son: humedales, quebradas, ríos, esteros, plazas de barrio, parques urbanos, líneas de ferrocarriles, calles urbanas, rotondas y jardines, entre otros.¹

¹ Revisar Sección C de este volumen para mayor detalle sobre la caracterización de estos elementos en la macrozona sur.

SISTEMA DE DRENAJE CON INFRAESTRUCTURA GRIS



SISTEMA DE DRENAJE CON INFRAESTRUCTURA VERDE



Internacionalmente, estos sistemas se han entendido a través de terminologías que son dinámicas y varían según la realidad local. Algunas de las más relevantes son:

SUSTAINABLE URBAN DRAINAGE SYSTEMS (SUDS):

Los Sistemas de Drenaje Urbano Sostenible se entienden como las tecnologías y técnicas usadas para drenar las aguas lluvias de una manera más sostenible que las soluciones tradicionales, basándose en replicar tan cercanamente como sea posible el drenaje natural de un área, es decir, aquel existente previo a su urbanización. Estos sistemas se configuran como una secuencia de prácticas que en conjunto forman un tren de manejo de las aguas lluvias. SUDS nace como concepto en el Reino Unido y toma fuerza en los años 2000. En Escocia, el uso de prácticas SUDS es una obligación desde el año 2003 (Sharma, 2008).

LOW IMPACT DEVELOPMENT (LID):

El concepto de Desarrollo de Bajo Impacto es utilizado principalmente en Estados Unidos y Nueva Zelanda, y su objetivo original es el de alcanzar en urbanizaciones una hidrología de carácter natural imitando el balance de volúmenes de escorrentía, infiltración y evapotranspiración existente previo al desarrollo urbano, a través de un paisaje equivalente en funciones hidrológicas. En particular, el término LID incluye el uso de medidas de tratamiento de AALL de menor escala ubicadas en las cercanías de la fuente de generación de escorrentía. Al no incluir la palabra “agua” el concepto ha sido aceptado en otras disciplinas como arquitectura, ecología y ciencias sociales.

WATER SENSITIVE URBAN DESIGN (WSUD):

El Diseño Urbano Sensible al Agua es utilizado principalmente en Australia para referirse al proceso de planificación y diseño de ciudades que busca reducir los impactos de la urbanización sobre el ciclo del agua. Sus principales objetivos son:

- Manejar el balance de agua en la urbanización.
- Mantener y, de ser posible, mejorar la calidad de las aguas.
- Incentivar la conservación del agua, reduciendo el consumo de agua potable y aumentando la reutilización de aguas grises.
- Proteger las actividades recreacionales y los servicios ecosistémicos que se relacionan con el recurso.

Así, dentro del WSUD, el manejo de AALL es una subcategoría de las estrategias para el manejo del recurso hídrico.

¿Qué es la infraestructura verde y cómo se vincula con el drenaje sostenible?

“La infraestructura verde son soluciones basadas en la naturaleza, que ayudan a mitigar los efectos del cambio climático y aumentan la eficiencia y sustentabilidad de las ciudades, ya que proporcionan múltiples servicios ecosistémicos, como la reducción de emisiones de dióxido de carbono (CO₂), la mitigación de inundaciones y la reducción de temperatura, además de ser una oportunidad para proporcionar y restaurar biodiversidad, esto en beneficio directo de la salud y calidad de vida de las personas” (Muñoz et al., 2019).

Hablar de IV es referirse a un **enfoque de planificación y diseño** que se basa en reconocer el papel crítico que desempeñan los **espacios verdes y azules** para el mantenimiento de la vida y en consecuencia también de las aguas, proponiendo una nueva forma de interpretar, intervenir e integrar los elementos del paisaje urbano, periurbano, rural y silvestre (Landscape Institute, 2009). Este enfoque procura una **continuidad e interconexión del paisaje**, entendiendo que su condición de red es todavía más relevante que la conservación de grandes extensiones aisladas.

En los sistemas de drenaje, la IV juega un rol fundamental. La planificación, diseño y mantención de una red de drenaje urbano que utiliza IV supone una descentralización y diversificación de las medidas de control que interceptan la escorrentía de aguas lluvias en todo su camino, desde el origen hasta su destino final. **Si bien en el pasado este enfoque había sido considerado como una solución alternativa para el manejo de las aguas lluvias, su implementación es hoy una necesidad.** Se estima que en una escala urbana, un sistema bien diseñado de IV es capaz de reducir entre un 85% y 100% la escorrentía, evitando importantes daños a las comunidades (United States Environmental Protection Agency [EPA], 2008). Lo anterior se debe a dos atributos fundamentales de la IV: **la conectividad y la multifuncionalidad** (Rusche, Reimer & Stichmann, 2019).

Las funciones hidrológicas y servicios ecosistémicos que naturalmente poseen los cuerpos verdes y azules de las ciudades, representan una oportunidad para controlar el volumen y calidad de las aguas lluvias, reduciendo la presión sobre los sistemas aguas abajo. Asimismo, proveen a las ciudades de servicios ecosistémicos claves que les otorgan seguridad y calidad de vida a sus habitantes, y que protegen y ponen en valor la vida natural con la que convivimos. La capacidad de los elementos de IV de cumplir con una u otra función dependerá en gran medida de su diseño, optimización y mantención.

En el contexto de diseño de las redes de drenaje urbano, se reconocen como de especial importancia para los centros urbanos de la macrozona sur, las siguientes **funciones hidrológicas**:



Almacenamiento:

Capacidad de la infraestructura verde para **acumular las aguas lluvias**, ya sea para su retención, detención, y/o reutilización. Estos objetivos permiten reducir los caudales máximos, disminuir los flujos superficiales de aguas lluvias y facilitar la sedimentación de partículas.

La **retención**, se entiende como la capacidad del elemento de acumular las aguas formando un espejo permanente a lo largo del año, mientras que la **detención**, se entiende como la capacidad del elemento de acumular las aguas de forma temporal y liberarlas gradualmente gracias al diseño de una obra de salida.



Infiltración:

Capacidad de la infraestructura verde para **captar el flujo superficial** infiltrando las aguas lluvias gracias a la permeabilidad de sus suelos, aportando a la reducción del volumen total escurrido, a la disminución de los caudales máximos y/o a la recarga de los acuíferos.



Conducción:

Capacidad de la infraestructura verde de **trasladar aguas lluvias** de un punto a otro sin generar problemas. En general, las soluciones basadas en IV priorizan el flujo a bajas velocidades gracias a la rugosidad de la superficie, contribuyendo a disminuir los caudales máximos, evitar la erosión y favorecer el aprovechamiento local¹.

¹ Notar que en algunos casos, especialmente para tormentas mayores, la velocidad de conducción es mayor. Aquí se combinan las soluciones basadas en IV con elementos de la red convencional de drenaje.

De estas y otras funciones se derivan diversos **servicios ecosistémicos**, entendidos como los **beneficios irremplazables para la humanidad y para el resto de la biodiversidad que nos proveen los ecosistemas** (Instituto de Ecología y Biodiversidad, s.f.). Para efectos de esta guía, se reconocen como de especial importancia los siguientes:



Reducción de riesgos climáticos:

Capacidad de la infraestructura verde para **reducir la vulnerabilidad y con ello el riesgo** de los centros urbanos frente a amenazas climáticas debido a sus condiciones de diseño particulares (morfología, diversidad y estratificación de vegetación, tipos de suelos, entre otros). En otras palabras, la capacidad de constituirse como una medida de adaptación. Será de especial relevancia para la macrozona sur, su capacidad de reducir el riesgo de inundación y de remoción en masa, así como también de disminuir la carga sobre los sistemas de transporte de aguas servidas.



Depuración de las aguas:

Capacidad de la infraestructura verde para **filtrar y tratar los contaminantes de las aguas lluvias**, protegiendo la vida de los organismos acuáticos que habitan los cuerpos de agua receptores y la salud de las comunidades humanas aledañas.



Provisión de hábitat y conectividad ecológica:

Capacidad de la infraestructura verde para **promover la biodiversidad y conectar hábitats** gracias a la complejidad estructural y diversidad de su vegetación, y a la distribución espacial de sus componentes.

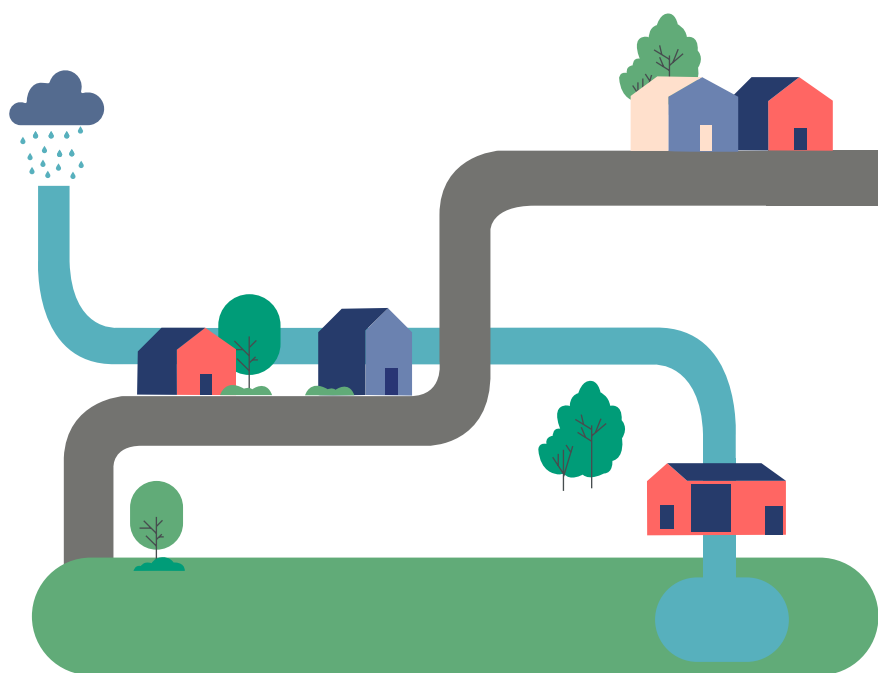


Provisión de espacios de recreación:

Capacidad de la infraestructura verde para proveer a las ciudades de **espacios para el esparcimiento y desarrollo cultural** que, dependiendo de su calidad, cantidad y distribución, permiten mejorar la calidad de vida de sus habitantes.

2

El drenaje urbano sostenible como enfoque para ciudades resilientes



Una gestión sensible y optimizada de las aguas lluvias reduce los riesgos climáticos, protege la calidad del agua y de los cuerpos receptores, a la vez que provee espacios públicos y bienestar comunitario. Este capítulo presenta un marco conceptual para comprender este enfoque, y profundiza en el análisis del riesgo y su aplicación en el ecosistema urbano.

Ciudades resilientes y beneficios del drenaje urbano sostenible

Se entiende por ciudades resilientes a aquellos centros urbanos que cuentan con una mejor capacidad para enfrentar el impacto del cambio climático y recuperarse de sus efectos (Muñoz et al., 2019). Desde el punto de vista del diseño urbano, el enfoque de Drenaje Urbano Sostenible (DUS) reviste una especial importancia, en tanto ayuda a generar acciones para enfrentar una amenaza climática permanente.

Se trata de una herramienta que provee diversos servicios ecosistémicos a las ciudades:



1

Protección de la calidad del agua de los cuerpos receptores

El agua juega un rol fundamental en la vida de las personas, por lo que la necesidad de mantener los cuerpos de agua libres de contaminación es imperiosa. El uso de infraestructura verde ha sido identificado como una solución eficiente al mejoramiento de la calidad del agua de ecosistemas acuáticos asociados a zonas urbanas, sobre todo para el tratamiento de AALL (Gonzalez-Meler et al, 2013; Jalali & Rabotyagov, 2020).

Según el **enfoque “tradicional” de manejo de aguas lluvias**, cuando una gota de agua cae sobre una superficie, sigue un trayecto particular hasta llegar a un cuerpo de agua natural. En ese trayecto, dado que escurre principalmente por superficies impermeables (calles, sumideros, colectores), captura los distintos contaminantes propios de las zonas urbanas, entre ellos metales pesados, hidrocarburos, microplásticos y microorganismos patógenos, entre muchos otros. Al no encontrar ningún elemento que la depure o retenga, la gota, junto a los compuestos contaminantes, terminan ingresando a un río, arroyo, lago, laguna y/o humedal. Luego, los altos volúmenes de escorrentía que ingresan a estos espacios se acumulan en la columna de agua y sedimentos hasta que se convierten en un peligro para los organismos acuáticos, e incluso para la salud humana.

Por el contrario, una **red de infraestructura verde** bien diseñada, permite que esa gota que cae sea interceptada por espacios de vegetación, suelos filtrantes u otras obras complementarias que, a través de procesos físicos de filtración y transformaciones químicas y/o biológicas, son capaces de depurar las aguas, diversificando además los puntos receptores finales. **Algunos cuerpos de agua con capacidad depuradora que se identifican como elementos de infraestructura verde, pueden rápidamente convertirse en sumideros de contaminantes si no son debidamente protegidos.** Estos sumideros no solo amenazan la vida de la biodiversidad que los habita, sino que también la de las comunidades humanas que los rodean.

La diversificación en el uso de elementos de infraestructura verde a lo largo del camino que transitan las aguas lluvias es clave para proteger los cuerpos receptores pues permite:

- **Disminuir el volumen de aguas lluvias que ingresa a ellos.**
- **Disminuir la carga de contaminantes de la escorrentía.**

Algunos cuerpos de agua de las ciudades, como **los humedales naturales y artificiales, han demostrado ser capaces de mejorar parámetros de calidad de agua asociados a la contaminación por aguas lluvia de una forma eficiente** gracias a procesos físicos, químicos y biológicos internos de remoción.

Sin embargo, la capacidad de estos sistemas de reducir la contaminación dependerá de la condición ecológica en la que se encuentren. En situaciones de alta presión antrópica con baja protección (común en centros urbanos del país), los cuerpos de agua suelen encontrarse en estados degradados que disminuyen su capacidad de depuración, pues los procesos de remoción de contaminantes se ven atrofiados. La degradación puede ser rápidamente identificada cuando se evidencian fenómenos como la **eutrofización**. Este proceso hace referencia a la proliferación de algas producto de un exceso de nutrientes, que trae como consecuencia la disminución del oxígeno disuelto en agua y pone en riesgo la vida de distintas comunidades acuáticas.

Por lo tanto, cuando se incluyen cuerpos de agua en los sistemas de drenaje urbano, resulta de suma importancia protegerlos a través del uso de otros elementos de infraestructura verde o sistemas complementarios de depuración. **La eficiencia del sistema de drenaje urbano sostenible para aportar en el mejoramiento de la calidad del agua de los cuerpos receptores dependerá de la integridad de la red de infraestructura verde.**

2

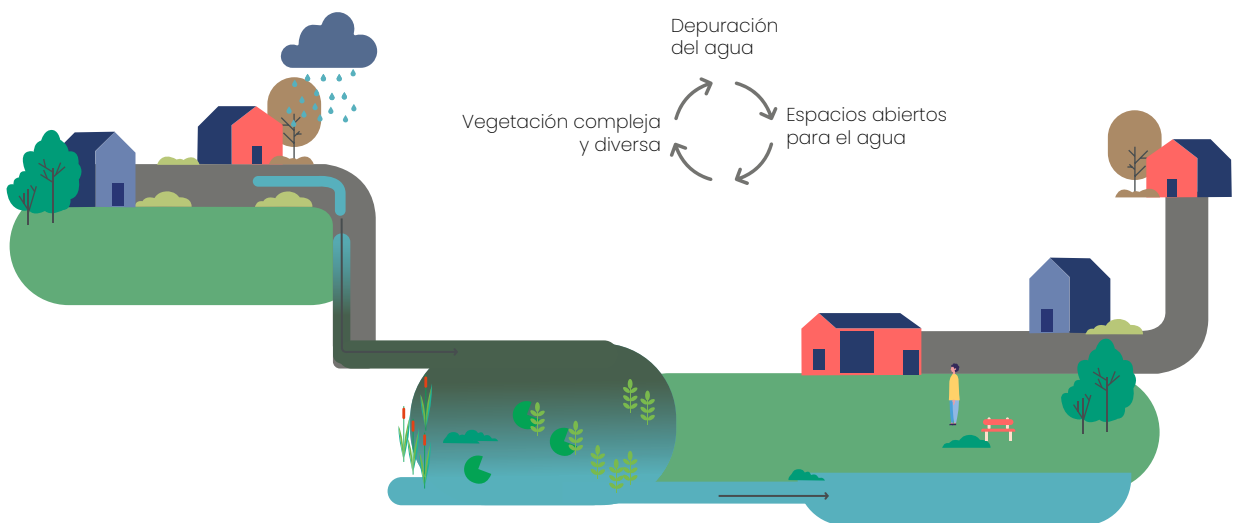
Aporte en provisión de hábitat para vida silvestre y conectividad ecológica

El agua es fundamental para la vida como la conocemos. Toda forma de vida en la Tierra está compuesta principalmente de agua y las comunidades de diversas especies, incluida la humana, dependen de ella. Entubar y drenar supone imposibilitar las relaciones de vida, tratando el agua como un desecho o problema. Por el contrario, **abrir sus caminos y dotarlos de complejidad en términos de espacio y vegetación implica dar paso hacia nuevas relaciones ecológicas.**

Se ha constatado que, **a mayor complejidad estructural y diversidad de la vegetación, mayor variedad de las especies en un hábitat** (Estades, 1997). Esto demuestra que es posible gestionar la provisión de hábitat para la fauna silvestre a través del manejo de estas variables. El enfoque de drenaje urbano sostenible basado en el uso de infraestructura verde permite, precisamente, diseñar espacios de forma responsable con el objetivo de promover la biodiversidad y asegurar la conectividad entre hábitats (Davis & Neumann, 2017).

El agua siempre está fluyendo y, por lo tanto, necesita configurarse como una red continua. Esta continuidad, que es tan propia del camino del agua, es también una oportunidad para visibilizar otras funciones ecológicas más difíciles de observar, como el flujo de sedimentos, nutrientes, semillas y animales. Por ejemplo, comunidades de especies que antes estaban desconectadas, ahora pueden interactuar y colonizar nuevos lugares dentro de la ciudad mediante el uso de infraestructura verde. De esta forma, se asegura la conectividad ecológica, conservación y multifuncionalidad de los ecosistemas (Mubareka et al., 2013).

Con la elección adecuada de especies vegetales, la integración de las áreas verdes a la red de drenaje urbano se constituye como una estrategia de adaptación al cambio global, por cuanto reduce las necesidades de riego, evitando el uso innecesario del agua como recurso (Ministerio del Medio Ambiente, 2018), **pero también porque recupera y protege la biodiversidad de las zonas urbanas.**



3

Aporte en espacio público y calidad de vida

Los espacios públicos verdes son fundamentales para una buena calidad de vida humana (Weiland et al., 2011). Varios de los servicios ecosistémicos de regulación que aportan estos espacios son conocidos: reducción de la escorrentía, captura de contaminantes, control del efecto isla de calor y otros, asociados a las condiciones medioambientales de habitabilidad (Tarrío, 1996; Banzhaf et al., 2018). Según la Mesa de Ciudades para la Adaptación al Cambio Climático (Muñoz et al., 2019), el espacio público implementado desde el enfoque de infraestructura verde es un soporte para la resiliencia de las ciudades, permitiendo también **incrementar la felicidad de sus habitantes, disminuir el estrés de personas y aumentar la sensación de seguridad en los espacios urbanos** (Navarrete-Hernández & Laffan, 2019).

El contacto directo entre las personas y los espacios verdes para la recreación, esparcimiento, y educación socioambiental es clave. En ese sentido, la infraestructura verde localizada en espacios públicos provee a gran porcentaje de la población de **servicios ecosistémicos culturales**, asegurando el **acceso equitativo a estos espacios**, lo que es de especial importancia en áreas densamente urbanizadas.

Los elementos de infraestructura verde no solo contribuyen a mejorar la salud de los ecosistemas, sino que también a la salud humana (Tzoulas et al., 2007). **La presencia de áreas verdes y azules en el espacio público incrementa la esperanza y calidad de vida a través de la provisión de espacios para la actividad física y el esparcimiento**, aportando a tratar problemas como la obesidad, salud mental, enfermedades coronarias, asma y otras patologías (Forest Research, 2010; Brears, 2018). Aún más, investigaciones asocian directamente la presencia de espacios verdes a una mayor capacidad de recuperación de enfermedades (Bowen & Lynch, 2017).

Otro beneficio social de la infraestructura verde es la generación de redes comunitarias más inclusivas y cohesionadas, pues los espacios públicos verdes se constituyen como plataformas para llevar a cabo este tipo de interacciones. A su vez, el aumento de personas que interactúan en el espacio público disminuye la probabilidad de ocurrencia de actos delictivos, obteniendo ciudades más seguras (Brears, 2018).

El aporte que los espacios públicos verdes realizan a las comunidades varía en función de su calidad, cantidad y distribución. Aspectos como la calidad de equipamiento y vegetación, iluminación y limpieza, accesibilidad y proximidad, son determinantes al momento de utilizarlos (Banzhaf, Reyes-Päcke & De la Barrera, 2018). Lamentablemente, estas variables no están debidamente reguladas en los instrumentos de planificación territorial (De la Barrera, Reyes-Päcke & Banzhaf, 2016).

El rol del espacio público es primordial en cuanto a la escala de acción en la que permite intervenir, y la infraestructura verde es un elemento clave en la misión de **reconstruir la conectividad como propiedad del paisaje** (y por tanto los flujos de energía, nutrientes y especies) y **restituir las estructuras ecológicas existentes previa urbanización y fragmentación del territorio** (Ahern, 2007). Así, los espacios públicos verdes coherentes con las estructuras ecológicas principales e integrados a los elementos de ordenación ambiental fomentan los procesos ecológicos clave en contextos urbanos (Vásquez, 2016; Andrade et al., 2014).

4

Reducción de riesgos climáticos

“Para hacer frente a los impactos al cambio climático en un país con alta vulnerabilidad, necesidades de desarrollo y crecientes conflictos sociales, se requiere diseñar e implementar distintos niveles de medidas de adaptación y transformación basadas en mejoras institucionales y de gobernanza, diseño de infraestructura, protección de ecosistemas y la formación de comunidades más resilientes” (Rojas et al., 2019).

Chile ha sido identificado como uno de los países más vulnerables al Cambio Climático a escala mundial (Kreft et al., 2015), producto de la reducción de la disponibilidad de recursos hídricos, causada por efecto de la disminución de las precipitaciones, el aumento de la temperatura y por el acelerado derretimiento de la criósfera. A su vez, existen impactos asociados a amenazas climáticas como las inundaciones, aluviones, incendios, olas de calor y mega sequías. En zonas costeras, estudios recientes muestran además incrementos de oleaje y marejadas (Ministerio del Medio Ambiente [MMA], 2019). Estas amenazas climáticas serán más frecuentes y extremas en las siguientes décadas, generando incertidumbre en los ámbitos sociales, ambientales y económicos del país (Rojas et al., 2019).

Estudios recientes han indicado que un alto porcentaje de los desastres ocurridos en las últimas décadas se debe a las precipitaciones (Henríquez et al., 2019). Según el Ministerio del Medio Ambiente, el aumento de precipitaciones extremas que generan aluviones, desbordes de ríos e inundaciones, ponen en riesgo la infraestructura pública, incluyendo la infraestructura hídrica, con consecuencias en la provisión de agua y sistemas de evaluación (Ministerio de Obras Públicas & Ministerio del Medio Ambiente, 2017). De esta forma, **las amenazas climáticas se presentan como un asunto de suma relevancia para el mejoramiento y proyección de obras hidráulicas en el futuro** (MMA, 2017).

En términos generales, las proyecciones climáticas regionales indican un aumento de temperatura para todo el territorio nacional, con un gradiente de mayor a menor de norte a sur y de cordillera a océano. En la Patagonia Sur se espera un aumento de 0.4°C (RCP2.6) a 0.6°C (RCP8.5) entre los años 2021 y 2050, de acuerdo a los datos analizados por el Centro de Ciencia del Clima y Resiliencia (Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)2, 2018).

El aumento de temperatura en la zona cordillerana subraya una segunda tendencia importante a la hora del estudio del riesgo y los impactos sobre los sistemas de drenaje naturales, esta es, el aumento de la isoterma 0. El agua que antes se guardaba naturalmente en forma de nieve para las estaciones de primavera y verano, ahora precipita aportando directamente al aumento de caudal de los ríos y arroyos, presionando los sistemas aguas abajo (MMA, 2017). Finalmente, en cuanto a las precipitaciones, se proyectan disminuciones de aproximadamente el 20% en la zona sur y austral (escenario de mayor emisión, RCP8.5) para los veranos entre 2021 y 2050².

Una de las amenazas climáticas más inminentes para el drenaje urbano son las inundaciones y remociones en masa. Los sistemas tradicionales de drenaje basados en el uso de infraestructura gris aumentan la vulnerabilidad de las ciudades, promoviendo la impermeabilización de los suelos. Esta impermeabilización no solo incrementa los caudales máximos y los volúmenes de escorrentía, sino que también amenaza a los ecosistemas acuáticos y la vida silvestre, al aumentar los niveles de contaminantes en el agua asociados a esa escorrentía (p. ej. aceite, materia orgánica y metales tóxicos). Aún más, el diseño de drenaje urbano basado en infraestructura gris tiene la limitante de no responder debidamente al incremento de la urbanización y los impactos del cambio climático, involucrando normalmente altos costos de construcción, mantenimiento y reparación (Davis & Naumann, 2017).

De forma opuesta a los sistemas grises, **las redes de drenaje sostenible que incorporan soluciones de infraestructura verde permiten mejorar la infiltración de los suelos, depurar las aguas lluvias y estabilizar las laderas.** Por lo tanto, constituyen una medida de adaptación para reducir la vulnerabilidad de los centros urbanos, aumentando su resiliencia y reduciendo el riesgo de desastres (EPA, s.f.). **Los diseños DUS permiten además recargar los acuíferos y aumentar la humedad del suelo, mejorando la disponibilidad y cantidad de agua** (Gonzalez-Meler et al., 2013), **y resguardando el ciclo hidrológico del que dependen las ciudades.**

El enfoque de sistemas de drenaje sostenible es más flexible que aquel de infraestructura gris a la hora de estudiar la capacidad de amortizar los efectos del cambio climático y de estudiar el riesgo en general, pues permite incorporar cambios estructurales al diseño (Davis & Neumann, 2017). Esto es especialmente importante en Chile, dados los altos impactos que se esperan en la reducción de cuerpos de agua dulce (Rojas et al., 2019). Aún más, una de las metas de la Mesa de Ciudades para la Adaptación al Cambio Climático es fortalecer la adaptación de los ríos urbanos y cuerpos de agua con criterios de infraestructura verde y planificación territorial. Para lograrlo, proponen generar nuevos estándares metodológicos para planificar corredores fluviales urbanos que deriven de planes estratégicos de IV (Muñoz et al., 2019).

El drenaje urbano sostenible basado en IV tiene también un rol sobre la regulación del clima y la composición atmosférica. Esto, ya que sus componentes (plantas, algas y suelos) estabilizan las condiciones climáticas a través del secuestro continuo de dióxido de carbono, característica de especial importancia en el escenario de calentamiento global actual (Liquete et al., 2015). Así, la conservación de ecosistemas que actúan como reservorios de carbono debe ser de prioridad para la mitigación del cambio climático, y por tanto para el diseño y mantención de los sistemas de drenaje basados en este enfoque.

² Se recomienda visitar la Sección C de esta guía para información más detallada sobre las proyecciones climáticas de la macrozona.

ANÁLISIS DEL RIESGO CLIMÁTICO Y SU APLICACIÓN EN SISTEMAS DE DRENAJE URBANO

El **riesgo climático** corresponde a la potencial ocurrencia de un desastre, dada la existencia de una amenaza climática en un territorio y la presencia de personas, viviendas, infraestructura y/o ecosistemas susceptibles de sufrir impactos negativos. **Proteger los servicios ecosistémicos de los espacios naturales de centros urbanos es una medida que mejora la capacidad de las ciudades para hacer frente a los peligros climáticos**, aportando a la reducción del riesgo de desastre.

El Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) ha propuesto una herramienta metodológica que permite comprender la interacción entre las 3 principales variables involucradas en la definición del **riesgo de desastres** (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2014).

1 Peligros

Corresponden a las amenazas derivadas de la ocurrencia de fenómenos climáticos extremos repentinos o tendencias climáticas paulatinas que podrían generar impactos físicos directos. Por ejemplo, eventos de precipitaciones intensas. Los peligros son influenciados por la variabilidad natural del clima y por los cambios producto de la actividad antropogénica (cambio climático).

2 Exposición

La presencia de personas, medios de subsistencia, servicios, infraestructura, o activos económicos, sociales o culturales en lugares que podrían verse afectados negativamente. Por ejemplo, número de viviendas expuestas.

3 Vulnerabilidad

Propensión o predisposición de aquello expuesto a ser afectado negativamente producto de la susceptibilidad del sistema al daño y la falta de capacidad de respuesta y adaptación (GIZ & EURAC, 2017). Por ejemplo, alta superficie impermeable.

Se recomienda incorporar a estas variables la herramienta auxiliar de **Impactos Intermedios**, que permite comprender la cadena causa-efecto que existe entre los componentes principales que conducen al riesgo. Los impactos intermedios corresponden a eventos potencialmente peligrosos que pueden verse influenciados por medidas o actividades sobre el sistema. A diferencia de los peligros climáticos, se pueden controlar reduciendo, por ejemplo, la vulnerabilidad.

¿Cómo llevar a cabo un análisis de riesgo?

Se deben seguir los siguientes pasos, buscando responder preguntas asociadas a cada una de las variables involucradas, para luego definir las posibles medidas de adaptación (GIZ & EURAC, 2017):

1

Determinar los peligros e impactos intermedios

¿Qué peligros o tendencias climáticas y sus determinados impactos físicos representan un riesgo para mi ciudad o barrio?

2

Determinar la vulnerabilidad

¿Qué atributos del sistema contribuyen al riesgo?

3

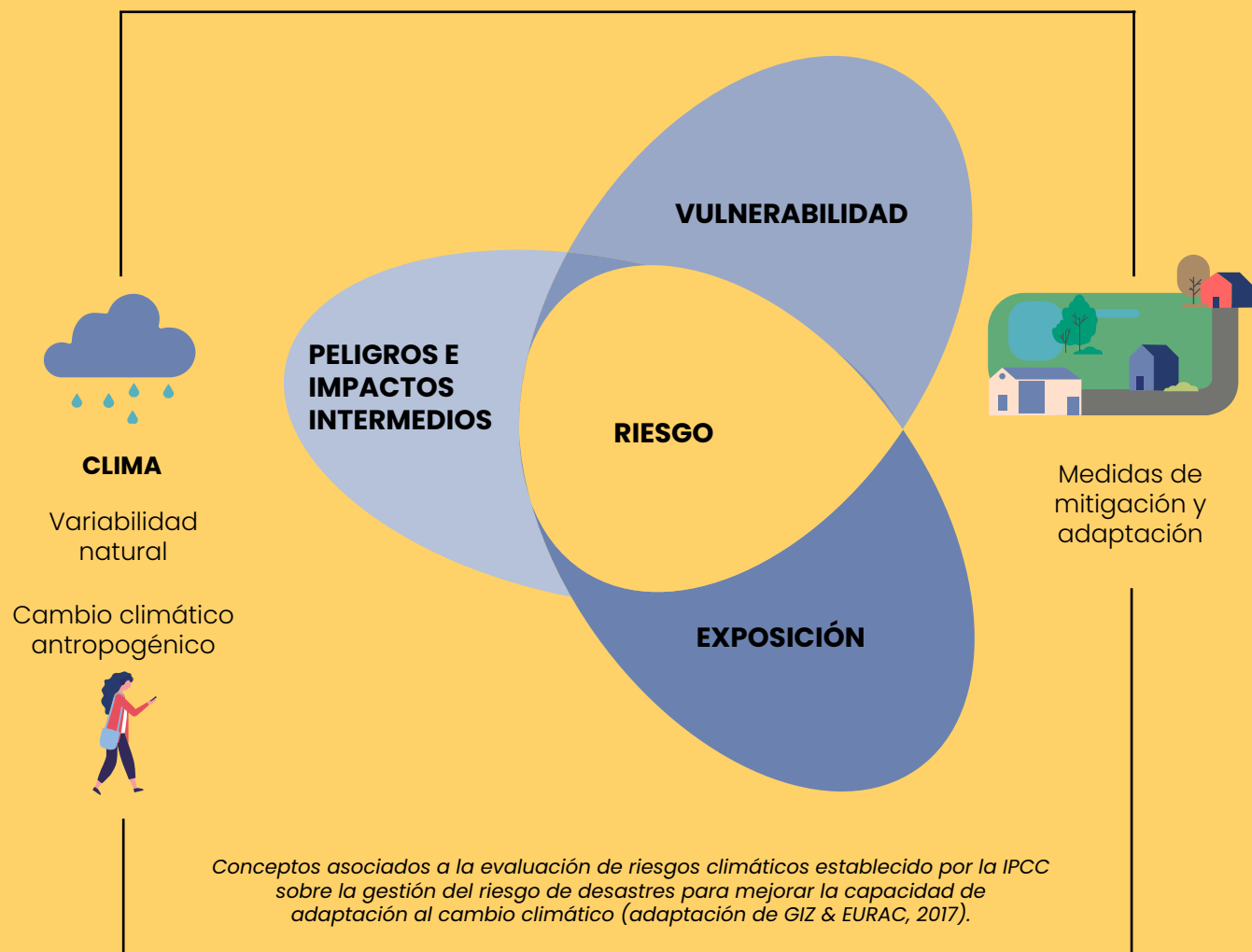
Determinar la exposición

¿Qué factores determinan la exposición? ¿Qué elementos están expuestos?

4

Determinar medidas de adaptación

¿Qué medidas podrían ayudar a disminuir la vulnerabilidad y/o exposición de mi sistema?



Una vez identificadas las variables que constituyen el riesgo (pasos 1, 2 y 3), es posible idear medidas de adaptación para disminuir la vulnerabilidad y exposición, reduciendo así el riesgo.

La European Environment Agency (EEA) propone como medida adaptativa clave mejorar la capacidad ecosistémica de las ciudades para disminuir su vulnerabilidad frente a los peligros climáticos (European Environment Agency [EEA], 2015). Las capacidades ecosistémicas, en este contexto, hacen referencia al potencial de los sistemas naturales de proveer servicios ecológicos para hacer frente a una amenaza. Por ejemplo, potenciar la capacidad de infiltración y almacenamiento de aguas lluvias a través del uso de infraestructura verde para mejorar la respuesta de los centros urbanos al peligro de precipitaciones intensas.

PELIGROS CLIMÁTICOS

● Lluvias intensas o prolongadas

IMPACTOS INTERMEDIOS

● Inestabilidad de laderas

● Aumento de volúmenes de escorrentía y caudales máximos

● Remociones en masa

RIESGOS

● Inundaciones

VULNERABILIDAD

● Laderas sin vegetación

● Calles contaminadas

● Suelos altamente impermeabilizados

EXPOSICIÓN

● Infraestructura crítica en zonas susceptibles

MEDIDAS DE ADAPTACIÓN

● Proteger y mejorar la capacidad ecosistémica de la infraestructura verde

● Competencia de instituciones públicas y privadas sobre los sistemas de drenaje sostenible

En el contexto del drenaje urbano, los desastres principales que se busca evitar o reducir son aquellos asociados a inundaciones y remociones en masa. Estos desastres suelen ser causados por:

- **PELIGROS CLIMÁTICOS**

Eventos de lluvias intensas o prolongadas.

- **IMPACTOS INTERMEDIOS**

Aumento de los volúmenes de escorrentía, aumento de los caudales máximos e inestabilidad de laderas.

- **VULNERABILIDAD**

Los factores que pueden contribuir a un mayor riesgo en las ciudades afectadas por estas amenazas son: suelos altamente impermeabilizados, laderas sin vegetación que las estabilice, calles contaminadas y falta de conocimiento suficiente sobre los procesos de gestión de las aguas lluvias.

- **EXPOSICIÓN**

Si la población e infraestructura crítica se encuentran localizados en zonas urbanas susceptibles, como rellenos de humedales, quebradas, bordes de río y esteros u otras zonas tipificadas como áreas de riesgo en los instrumentos de planificación territorial, el riesgo total aumenta.

- **MEDIDAS DE ADAPTACIÓN**

Proteger y mejorar la capacidad ecosistémica de la infraestructura verde (infiltración, almacenamiento, estratos vegetacionales, diversidad biológica, entre otros), así como la competencia de las instituciones públicas y privadas sobre los sistemas de drenaje sostenible permite reducir la vulnerabilidad de los territorios y con ellos el riesgo de desastres.

REFERENCIAS:

- Ahern, J. (2007). Green infrastructure for cities: the spatial dimension. En *Cities of the future: towards integrated sustainable water and landscape management* (pp. 267-283). IWA Publishing.
- Andrade, G., Remolina, F., Wiesner, D. & Montenegro, F. (2014). La Estructura Ecológica Principal en lo local. Propuesta de aplicación en la renovación urbana de Fenicia, Las Aguas, Bogotá. *Revista nodo*, 8(16), 43-54.
- Banzhaf, E., Reyes-Paecke, S. M., & de la Barrera, F. (2018). What Really Matters in Green Infrastructure for the Urban Quality of Life? Santiago de Chile as a Showcase City. En S. Kabisch, F. Koch, E. Gawel, A. Haase, S. Knapp, K. Krellenberg, ... A. Zehndorf (Eds.), *Urban Transformations: Sustainable Urban Development Through Resource Efficiency, Quality of Life and Resilience* (pp. 281-300). https://doi.org/10.1007/978-3-319-59324-1_15
- Bowen, K. J., & Lynch, Y. (2017). The public health benefits of green infrastructure: the potential of economic framing for enhanced decision-making. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 25, 90-95.
- Brears, R. C. (2018). Blue-Green Infrastructure in Managing Urban Water Resources. En R. C. Brears (Ed.), *Blue and Green Cities: The Role of Blue-Green Infrastructure in Managing Urban Water Resources* (pp. 43-61). https://doi.org/10.1057/978-1-137-59258-3_2
- Davis, M., & Naumann, S. (2017). Making the Case for Sustainable Urban Drainage Systems as a Nature-Based Solution to Urban Flooding. En N. Kabisch, H. Korn, J. Stadler, & A. Bonn (Eds.), *Nature-Based Solutions to Climate Change Adaptation in Urban Areas: Linkages between Science, Policy and Practice* (pp. 123-137). https://doi.org/10.1007/978-3-319-56091-5_8
- De la Barrera, F., Reyes-Päcke, S., & Banzhaf, E. (2016). Indicators for green spaces in contrasting urban settings. *Ecological indicators*, 62, 212-219.
- Estades, C. F. (1997). Relaciones aves-hábitat en un gradiente vegetal en los Andes del centro de Chile. *El cóndor*, 99 (3), 719-727.
- European Environment Agency. (2015). *Exploring nature-based solutions: The role of green infrastructure in mitigating the impacts of weather -and climate change- related natural hazards* (EEA Technical Report No. 12/2015). DOI: 10.2800/946387
- Forest Research. (2010). *Benefits of green infrastructure* (Report No. DEFRA WC0807). Forest Research. Recuperado de <https://www.forestresearch.gov.uk/research/benefits-of-green-infrastructure/>
- GIZ & EURAC. (2017). Risk supplement to the vulnerability sourcebook. *Guidance on How to Apply the Vulnerability Sourcebook's Approach with the New IPCC AR5 Concept of Climate Risk*. Bonn, Alemania.
- Gonzalez-Meler, M. A., Cotner, L. A., Massey, D. A., Zellner, M. L., & Minor, E. S. (2013). The Environmental and Ecological Benefits of Green Infrastructure for Stormwater Runoff in Urban Areas. *JSM Environ Sci Ecol*, 1(2): 1007.
- Henríquez, C., Qüense, J., Villarroel, C., & Mallea, C. (2019). 50-Years of Climate Extreme Indices Trends and Inventory of Natural Disasters in Chilean Cities (1965-2015). In C. Henríquez & H. Romero (Eds.), *Urban Climates in Latin America* (pp. 281-308). https://doi.org/10.1007/978-3-319-97013-4_11
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2014). *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects*. Cambridge and New York: Cambridge University Press. Recuperado de: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/>
- Instituto de Ecología y Biodiversidad. (s.f.). *Servicios Ecosistémicos*. IEB. Recuperado de: <https://www.ieb-chile.cl/aprende-sobre/servicios-ecosistemicos/>
- Jalali, P., & Rabotyagov, S. (2020). Quantifying cumulative effectiveness of green stormwater infrastructure in improving water quality. *Science of The Total Environment*, 731, 138953. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138953>
- Kreft, S., Eckstein, D., Junghans, L., Kerestan, C., & Hagen, U. (2015). *Who suffers most from extreme weather events? Weather-related Loss Events in 2013 and 1994 to 2013*. Global Climate Risk Index, German Watch. Recuperado de: <https://www.germanwatch.org/es/9470>
- Landscape Institute. (2009). *Green infrastructure: connected and multifunctional landscapes*. Londres: The Landscape Institute Policy Committee. Recuperado de <https://landscapewpstorage01.blob.core.windows.net/www-landscapeinstitute-org/2016/03/GreenInfrastructurepositionstatement13May09.pdf>
- Liquete, C., Kleeschulte, S., Dige, G., Maes, J., Grizzetti, B., Olah, B., & Zulian, G. (2015). Mapping green infrastructure based on ecosystem services and ecological networks: A Pan-European case study. *Environmental Science and Policy*, 54, 268-280. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1462901115300356?via%3Dihub>
- Ministerio de Medio Ambiente. (2017). *Plan de Acción Nacional de Cambio Climático 2017-2022*. Santiago, Chile. Recuperado www.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2017/07/plan_nacional_climatico_2017_2.pdf

Ministerio del Medio Ambiente. (2019). *Determinación del riesgo de los impactos del Cambio Climático en las costas de Chile. Santiago, Chile*. Recuperado de <https://www.cambioglobal.uc.cl/proyectos/272-determinacion-del-riesgo-de-los-impactos-del-cambio-climatico-en-las-costas-de-chile>

Ministerio de Obras Públicas & Ministerio del Medio Ambiente. (2017). *Plan de Adaptación y Mitigación de los Servicios de Infraestructura al Cambio Climático 2017-2022*. Santiago, Chile. Recuperado de <https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2017/12/Plan-de-Accion-MOP.pdf>

Mubareka, S., Estreguil, C., Baranzelli, C., Gomes, C. R., Lavalle, C., & Hofer, B. (2013). A land-use-based modelling chain to assess the impacts of Natural Water Retention Measures on Europe's Green Infrastructure. *International Journal of Geographical Information Science*, 27(9), 1740-1763.

Muñoz, J. C., Barton, J., Frías, D., Godoy, A., Gómez, W., Cortés, S., Rojas, C. & Wagemann, E. (2019). Ciudades y cambio climático en Chile: Recomendaciones desde la evidencia científica. Santiago: Comité Científico COP25; Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación. Recuperado de https://www.cedeus.cl/wp-content/uploads/2019/12/Ciudades_Munoz_04.pdf

Navarrete-Hernández, P., & Laffan, K. (2019). A greener urban environment: Designing green infrastructure interventions to promote citizens' subjective wellbeing. *Landscape and Urban Planning*, 191, 103618. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2019.103618>

Rojas, M., Aldunce, P., Farías, L., González, H., Marquet, P. A., Muñoz, J. C., ... Vicuña, S. (Eds.). (2019). *Evidencia científica y cambio climático en Chile: Resumen para tomadores de decisiones*. Santiago: Comité Científico COP25; Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación.

Rusche, K., Reimer, M., & Stichmann, R. (2019). Mapping and Assessing Green Infrastructure Connectivity in European City Regions. *Sustainability*, 11(6), 1819.

Sharma, D. (2008). Sustainable drainage system (SUDS) for stormwater management: a technological and policy intervention to combat diffuse pollution. En *11th International conference on urban drainage, Edinburgh, Scotland, UK*.

Tarrío, F. R. (1996). La vegetación en la lucha contra el ruido. *Rutas: Revista de la Asociación Técnica de Carreteras*, (56), 43-50.

Tzoulas, K., Korpela, K., Venn, S., Yli-Pelkonen, V., Kaźmierczak, A., Niemela, J., & James, P. (2007). Promoting ecosystem and human health in urban areas using Green Infrastructure: A literature review. *Landscape and urban planning*, 81(3), 167-178.

United States Environmental Protection Agency. (2008). *Managing Wet Weather with Green Infrastructure. Action Strategy 2008*. Chicago, EE.UU. Recuperado de <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/P1008SI8.PDF?Dockkey=P1008SI8.PDF>

United States Environmental Protection Agency. (s.f.). *Benefits of Green Infrastructure*. EPA. Recuperado de <https://www.epa.gov/green-infrastructure/benefits-green-infrastructure>

Vásquez, A. E. (2016). Infraestructura verde, servicios ecosistémicos y sus aportes para enfrentar el cambio climático en ciudades: el caso del corredor ribereño del río Mapocho en Santiago de Chile. *Revista de Geografía Norte Grande*, (63), 63-86.

Weiland, U., Kindler, A., Banzhaf, E., Ebert, A., & Reyes-Päcke, S. (2011). Indicators for sustainable land use management in Santiago de Chile. *Ecological Indicators*, 11(5), 1074-1083.

SECCIÓN B

Marco estratégico y regulatorio

1

El drenaje urbano sostenible en el contexto internacional

Marco estratégico y referentes



Este capítulo aporta información clave sobre los convenios estratégicos internacionales a los que Chile ha adherido, permitiendo justificar la necesidad y urgencia de implementar sistemas de drenaje urbano sostenible (DUS) basados en infraestructura verde (IV).

Asimismo, presenta ejemplos de guías de DUS que han sido elaboradas y aplicadas alrededor del mundo de forma de evidenciar la tendencia internacional de adopción de este enfoque de diseño.

CONVENCIONES Y COMPROMISOS INTERNACIONALES SUSCRITOS POR CHILE

OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE



Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

Los ODS son el conjunto de **17 objetivos** y **169 metas** que en **2015** se propusieron cumplir **193 naciones** miembros de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) a través de la agenda "Transformar Nuestro Mundo: La Agenda del 2030 para el Desarrollo Sostenible". Se constituye como un llamado universal para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y garantizar que todas las personas gocen de paz y prosperidad para 2030.

Chile es uno de los países suscritos a la iniciativa y para su implementación ha diseñado una institucionalidad específica, el Consejo Nacional para la implementación de la Agenda 2030 (Chile Agenda 2030, s.f.) para el desarrollo sostenible, cuyo objetivo es asesorar al Presidente/a de la República y servir de instancia de coordinación para la implementación y seguimiento de los ODS y de la Agenda.

Respecto al diseño e implementación de sistemas y soluciones de drenaje urbano sostenible basados en el uso de infraestructura Verde, existe una relación directa con **5 Objetivos de Desarrollo Sostenible**.



ODS Y METAS ALINEADAS CON PROYECTOS DE DRENAJE URBANO SOSTENIBLE BASADAS EN INFRAESTRUCTURA VERDE

6 AGUA LIMPIA Y SANEAMIENTO



Garantizar la disponibilidad de agua, su gestión sostenible y saneamiento.

6.3. Para 2030, mejorar la calidad del agua mediante la reducción de la contaminación, eliminación de vertimientos y la reducción al mínimo de la descarga de materiales y productos químicos peligrosos (...)

6.6. Para 2020, proteger y restablecer los ecosistemas relacionados con el agua, incluidos los bosques, montañas, humedales, ríos, acuíferos y lagos.

9 INDUSTRIA, INNOVACIÓN E INFRAESTRUCTURA



Construir Infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación.

9.1. Desarrollar Infraestructuras fiables, sostenibles, resilientes y de calidad, incluidas infraestructuras regionales y transnacionales, para apoyar el desarrollo económico y bienestar humano, con especial hincapié en el acceso equitativo y asequible para todos.

11 CIUDADES Y COMUNIDADES SOSTENIBLES



Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles.

11.5. Para 2030, reducir de forma significativa el número de muertes y personas afectadas por los desastres, incluidos los relacionados con el agua, y reducir sustancialmente las pérdidas económicas directas vinculadas al PIB mundial causada por los desastres.

13 ACCIÓN POR EL CLIMA



Adoptar acciones urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos.

13.1 Fortalecer la resiliencia y la capacidad de adaptación a los riesgos relacionados con el clima y los desastres naturales en todos los países.

15 VIDA DE ECOSISTEMAS TERRESTRES



Proteger, restablecer y promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres, gestionar los bosques de forma sostenible, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras y poner freno a la pérdida de la biodiversidad biológica.

15.1. Para el 2020, velar por la conservación, el restablecimiento y el uso sostenible de ecosistemas terrestres y los ecosistemas interiores de agua dulce y los servicios que proporcionan, en particular los bosques, humedales, montañas y zonas áridas.

3 OBJETIVOS TIENEN UNA RELACIÓN INDIRECTA CON LOS SISTEMAS DE DRENAJE URBANO SOSTENIBLE:



ODS N° 3 Bienestar y salud:

Garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos en todas las edades, pues la salud y bienestar de las personas están asociados a la salud del medioambiente y el acceso a la naturaleza.



ODS N°10 Reducir la desigualdad en y entre los países:

Pues el uso de infraestructura verde en los sistemas de drenaje de las ciudades permite un mayor acceso de la población a espacios públicos de calidad.



ODS N°14 Conservar y utilizar sosteniblemente los océanos, los mares y los recursos marinos:

Pues gracias a la capacidad de la infraestructura verde de depurar las aguas lluvias, se contribuye a la protección de los organismos acuáticos.



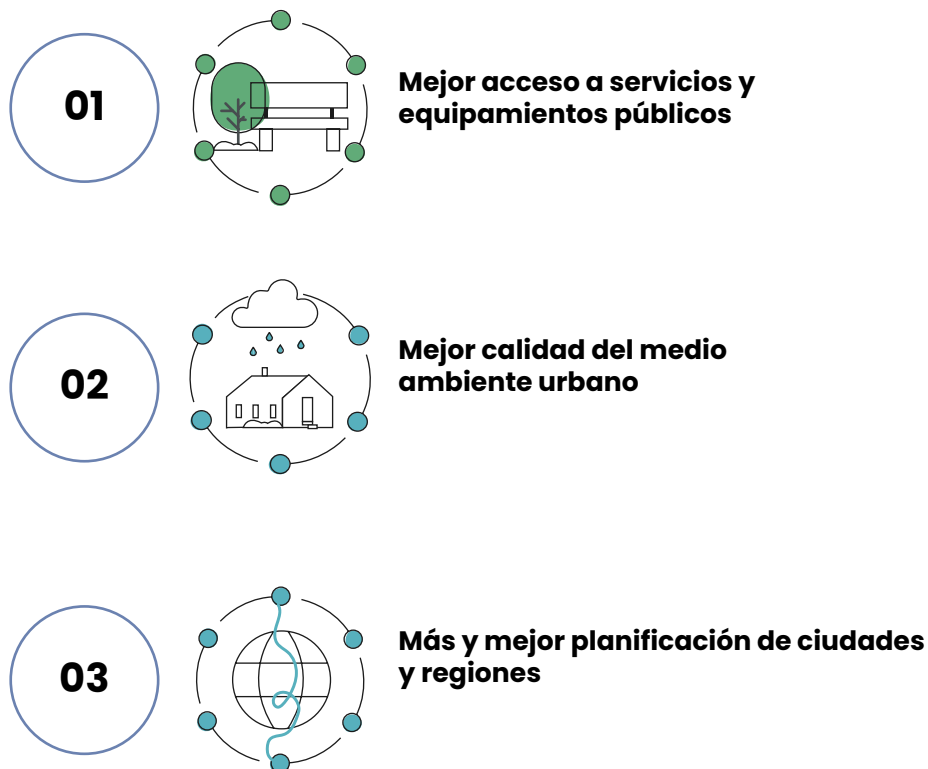
Nueva Agenda Urbana - Hábitat III

Presentada por la **Organización de Naciones Unidas** y aprobada por los **Estados Miembros** (entre los que se encuentra Chile) en el **2016, la Nueva Agenda Urbana busca orientar los esfuerzos en materia de desarrollo de ciudades de los distintos actores** (naciones, líderes regionales, sociedad civil, academia, entre otros). Estos lineamientos promueven el desarrollo de ciudades más inclusivas, compactas y conectadas mediante la planificación, el diseño urbano, la gobernanza, la legislación y la economía urbana (Naciones Unidas, 2017).

En el documento, los Estados Miembros reconocen realidades y toman compromisos. Se observa una convergencia continua a lo largo del texto entre los compromisos que se adquieren y el enfoque de los sistemas de drenaje urbano sostenible basados en infraestructura verde. Destacan aquellos adoptados bajo el concepto de Desarrollo Urbano Resiliente y Ambientalmente Sostenible, en particular aquél en que los países se comprometen a:

“Promover la creación y mantenimiento de redes bien conectadas y distribuidas de espacios públicos de calidad, abiertos, verdes, accesibles y destinados a fines múltiples como incrementar la resiliencia de las ciudades frente al cambio climático y los desastres como las inundaciones” (Naciones Unidas, 2017, p.23).

Para hacer seguimiento al cumplimiento de los compromisos de la Nueva Agenda, el Consejo Nacional de Desarrollo Urbano de Chile ha desarrollado indicadores agrupados en 8 compromisos estructurales. El enfoque de DUS en los sistemas de drenaje urbano aporta de forma directa a 3 de estos compromisos.



Sobre el compromiso 03, hay dos indicadores que hacen alusión directa a los sistemas de drenaje: **“La Incorporación de acciones para aprovechar las aguas lluvias en los Planes Maestros de Agua Lluvia”** y el **“Porcentaje de suelo permeable”**, lo que muestra cómo el enfoque DUS se alinea al cumplimiento de los compromisos de la Nueva Agenda que el país ha adoptado (Consejo Nacional de Desarrollo Urbano, 2018).

Se recomienda revisar la plataforma web SIEDU (Sistema de Indicadores y Estándares de Desarrollo Urbano) para descargar material y hacer seguimiento a los compromisos adquiridos por el país.



3 Convención Ramsar

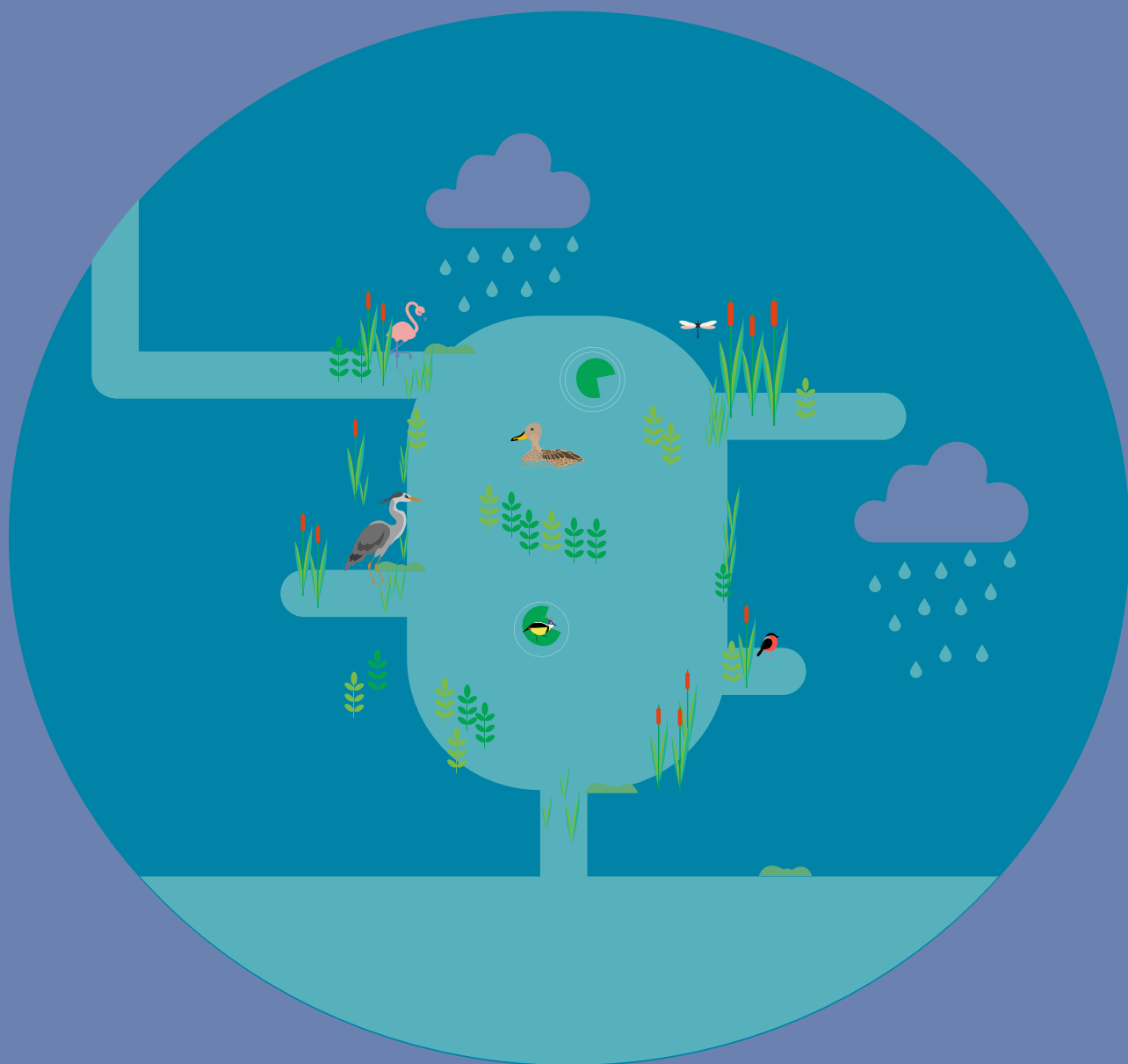
La Convención Ramsar (1971) corresponde a un tratado intergubernamental que adoptan las partes contratantes o países miembros (169 países) para promover la conservación y el uso racional de los humedales a partir de la acción local y nacional y de la colaboración internacional. En el contexto de la Convención, **el uso racional de los humedales se entiende como el uso sostenible de estos ecosistemas para beneficio de la humanidad de manera compatible con la protección de sus propiedades ecológicas.**

La Convención mantiene una lista de humedales de importancia internacional, conocida como Lista de Ramsar. Dentro de la macrozona sur, el Santuario de la Naturaleza Carlos Anwandter ubicado en la Región de Los Ríos, es el único humedal dentro de esta categoría. Sin embargo, los países miembros se comprometen a “elaborar y aplicar su planificación de forma que favorezca la conservación de los humedales incluidos en la lista y, en la medida de lo posible, el uso racional de los humedales de su territorio”. Por lo tanto, aprovechar estos ecosistemas en la red de drenaje urbano sostenible desde una gestión formal y planificada **no solo representa un beneficio gracias a los servicios ecosistémicos y funciones hidrológicas que prestan a las ciudades, sino que también, un desafío en términos de la conservación de sus funciones ecológicas básicas.**

Los planes y proyectos de drenaje urbano con enfoque DUS basados en Infraestructura Verde se alinean de forma directa con algunas metas que se propone la Convención en su Cuarto Plan Estratégico 2016–2024, entre ellas, que los beneficios de los humedales estén integrados en las políticas o estrategias y planes nacionales o locales y que los sectores públicos y privados aumenten sus esfuerzos para aplicar lineamientos y buenas prácticas para el uso racional del agua y los humedales (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2015).

El Ministerio del Medio Ambiente (MMA) es la institución nacional que da aplicación a los compromisos adquiridos en el marco de esta convención.

Entre las metas de la Convención se propone que los beneficios de los humedales estén integrados en las políticas o estrategias y planes nacionales o locales y que los sectores públicos y privados aumenten sus esfuerzos para aplicar lineamientos y buenas prácticas para el uso racional del agua y los humedales.



REFERENTES EN LA EXPERIENCIA INTERNACIONAL

Existe un gran número de guías DUS internacionales que han sido desarrolladas e implementadas considerando contextos territoriales particulares. Su existencia y continuo desarrollo evidencia la tendencia internacional de adopción de este enfoque de diseño. A continuación se muestran 4 ejemplos que profundizan en distintas aristas del manejo de las aguas lluvias.



The Sponge Handbook

Chennai, India
2019

[LINK DE DESCARGA](#)

Guía basada en la planificación del paisaje e infraestructura verde para el diseño de soluciones de drenaje de aguas lluvias urbanas. Está estructurada en base a la identificación de escalas (regional, cuenca, ciudad y barrio), principios (proteger, retrasar, almacenar y liberar) y tipologías de drenaje ('calles esponja', 'espacios abiertos esponja' y 'edificios esponja'). Otorga lineamientos conceptuales para la planificación, análisis y priorización de redes de infraestructura y 'paisajes esponja'.

The SuDS Manual



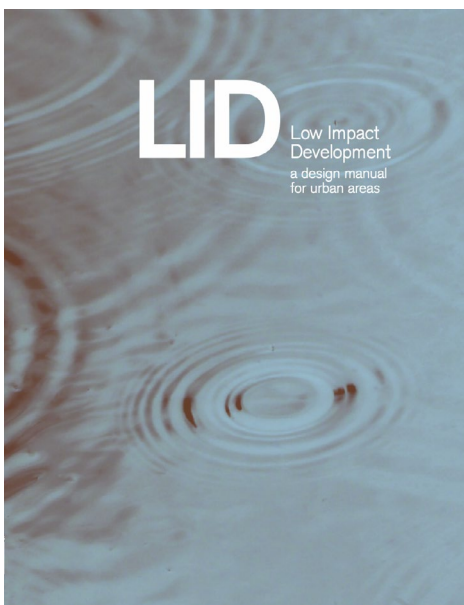
The SuDS Manual

Londres, Reino Unido
2015

[LINK DE DESCARGA](#)

Guía de gran profundidad técnica que entrega información relevante para los procesos de planificación, diseño, construcción y mantenimiento de sistemas de drenaje sostenible. El enfoque de diseño de esta guía pretende maximizar los beneficios sociales asociados a la calidad de los espacios públicos y privados y la calidad de los hábitats en función de la biodiversidad, siempre respondiendo al manejo de las inundaciones y la calidad del agua. Otros temas sobre los que profundiza son la elección de materiales, diseño del paisaje, participación comunitaria y costos.





Low Impact Development: a design manual for urban areas

Arkansas , USA / 2010

[LINK DE DESCARGA](#)

Guía introductoria que busca motivar la conciencia e implementación de soluciones basadas en la naturaleza para el manejo de la escorrentía de aguas lluvias. Si bien no profundiza en los conocimientos técnicos requeridos para el diseño y construcción de obras o redes de sistemas de drenaje urbano sostenible, invita a los usuarios a reflexionar sobre la necesidad de mantener enfoques holísticos integradores en la temática, a través del uso de técnicas de manejo de las aguas lluvias de bajo impacto.

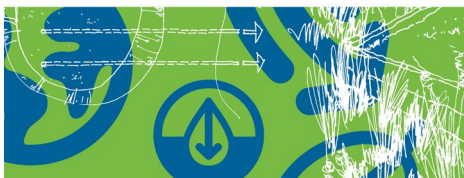


Water Sensitive Designs

Australia / 2014

Water Sensitive Designs
small improvements, new ideas, concepts and sketch designs for stormwater filtration systems

waterbydesign



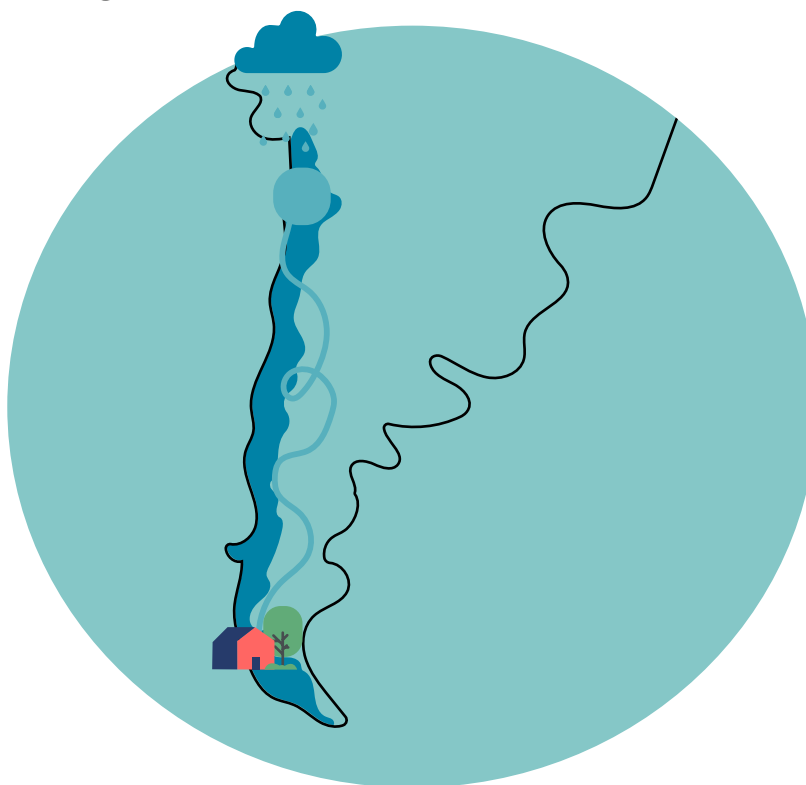
[LINK DE DESCARGA](#)

Esta guía permite al usuario explorar soluciones urbanas para la gestión de las aguas lluvias de distintas escalas y entrega principios básicos sobre la elección de materiales para su construcción. En general, no profundiza en las necesidades técnicas de diseño, sino que más bien provee al usuario de nuevas ideas que pueden ser útiles en la conceptualización de las redes urbanas de drenaje.

2

Principales normativas e instrumentos estratégicos para el drenaje urbano sostenible

En Chile



Este capítulo pretende revisar cómo se entiende y dónde se ubica el drenaje urbano en nuestro país, los principales cuerpos normativos e instrumentos estratégicos de orden nacional, regional y comunal que atañen de alguna forma a la implementación de un DUS, entregando herramientas para la gestión o indicando objetivos estratégicos de diversos servicios o políticas públicas en sus distintos ámbitos.

PRINCIPALES INSTRUMENTOS ESTRATÉGICOS NACIONALES

Los instrumentos estratégicos nacionales que se presentan a continuación determinan la visión país a corto, mediano y largo plazo en temáticas como el desarrollo urbano, gestión del recurso hídrico, adaptación al cambio climático, gestión del riesgo de desastres y protección de la biodiversidad. **El enfoque de diseño de planes de drenaje urbano sostenible se alinea de forma evidente con cada uno de ellos, ya sea a través de los ejes de acción y objetivos de los instrumentos o directamente por las actividades y medidas que proponen.** Esto demuestra una convergencia entre el enfoque que propone esta guía y la propuesta nivel país.

* ¿Cómo se alinean los instrumentos estratégicos nacionales al enfoque de Drenaje Urbano Sostenible basado en infraestructura verde?

1

Política Nacional de Desarrollo Urbano

Elaborada por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU) en el 2014 y con visión a largo plazo, esta política establece los lineamientos que buscan guiar a Chile hacia una evolución positiva y sostenible de las ciudades y centros poblados del territorio. Corresponde a un mandato compuesto de principios, objetivos y líneas de acción orientados a lograr una mejor calidad de vida de la población.

*

Entre los objetivos de esta política se encuentran: (1) considerar los sistemas naturales como soporte fundamental en la planificación y diseño de las intervenciones en el territorio y (2) fomentar el uso sustentable del suelo en ciudades y áreas de expansión, estableciendo condiciones para que los proyectos de nuevas áreas urbanas resuelvan las externalidades sobre el medio natural **en aspectos de permeabilidad del terreno, biodiversidad y cauces naturales.** Ambos objetivos caracterizan la orgánica de los sistemas de DUS basados en IV.

2

Política Nacional para los Recursos Hídricos

Publicada por el Ministerio del Interior y Seguridad Pública en 2015, este instrumento busca garantizar la disponibilidad y acceso al agua con adecuados estándares de calidad mediante el uso sustentable del recurso hídrico, privilegiando el consumo humano. Para ello presenta ejes de trabajo, medidas de acción y un plan de inversiones.

*

Asociado a la línea de acción de aumento de la oferta y disponibilidad de los recursos hídricos, la Política establece como actividad el **impulsar un programa nacional de obras de conservación de agua y suelos** como zanjas, piscinas de infiltración y otras soluciones **con el propósito específico de favorecer los procesos de infiltración de las aguas lluvias en los suelos.** El uso de IV en las redes de drenaje persigue, también, este como uno de sus objetivos.

3

Plan de Acción Nacional de Cambio Climático 2017–2022 (PACC II)

Desarrollado por el MMA para un horizonte de 5 años, el Plan tiene por objetivo hacer frente a los desafíos que plantean los impactos del cambio climático en Chile y promover la implementación de los compromisos internacionales adoptados por nuestro país. Para ello, presenta ejes de acción tanto en la línea de adaptación como de mitigación al cambio climático y propone diversas medidas junto a indicadores de seguimiento y entidades responsables.

*

Asociados al eje temático de gestión a nivel regional y comunal del Plan, se reconoce como de especial interés la línea temática “sinergias para la acción climática en un territorio específico” (LA27, por su sigla en el Plan). Esta presenta entre sus medidas específicas el **“diseño de proyectos tipos o proyectos pilotos para incorporar la adaptación de manera transversal a las funciones de las municipalidades”** (MG13, por su sigla en el Plan). Se reconocen explícitamente las acciones de protección de ecosistemas, humedales, bosques nativos y áreas verdes comunales como una medida de adaptación al cambio climático y responsabiliza a MMA y sus SEREMIS de la implementación de esta medida.

4

Plan de Adaptación al Cambio Climático para Ciudades (PACC Ciudades)

Elaborado por el MMA en conjunto con el MINVU y la colaboración de otras instituciones como CONAF, Ministerio de Desarrollo Social y Familia, Ministerio de Energía y Ministerio de Obras Públicas (MOP), el Plan propone lineamientos de adaptación y medidas de acción para ciudades frente al cambio climático con el objetivo de fortalecer la capacidad de respuesta a nivel urbano y mejorar la equidad territorial.

*

Dentro de este plan se proponen como medidas directas el **impulsar proyectos de infraestructura verde en ciudades** (Medida N°10), impulsar la gestión del agua frente a impactos del cambio climático (Medida N°8) y **avanzar hacia una concepción de espacio público como soporte para la adaptación al cambio climático** (Medida N°11).

5

Plan de Adaptación y Mitigación de los Servicios de Infraestructura al Cambio Climático

Elaborado por el MOP en coordinación con el MMA para un horizonte de 5 años (2017–2022), el Plan constituye un marco de referencia que sienta las directrices en materias de adaptación y mitigación al cambio climático para las distintas direcciones que conforman el MOP. El documento propone líneas de acción y medidas específicas en ambas materias así como también en el eje de gestión del conocimiento.

*

Una de las medidas impulsadas por el Plan es generar programas de protección del territorio frente a lluvias intensas (Medida N°5) reconociendo que el sistema de drenaje de las ciudades comienza en el momento que el agua toca por primera vez un elemento del suelo y termina en el cuerpo receptor de **forma que se debe trabajar la capacidad de adaptación del conjunto de elementos que conforman la red y de sus interacciones**. El DUS se alinea con este enfoque, es decir, visualizar soluciones a través de la cadena completa de movimiento de las aguas lluvias.

6

Política Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres

Elaborada por ONEMI en 2016, esta Política Nacional busca orientar las acciones y decisiones políticas desde una perspectiva integral de la reducción del riesgo de desastres (RRD) que considere que la gestión del riesgo debe ser un esfuerzo multisectorial. La Política trabaja sobre el concepto de territorialidad reconociendo que los desastres no entienden de fronteras administrativas y que existen otras delimitaciones territoriales de gran importancia como lo son las cuencas hidrográficas, los ecosistemas y las macrozonas de biodiversidad.

*

Uno de los objetivos específicos declarados en esta política es **promover la perspectiva de gestión integral tanto en el sector público como privado**. Este trabajo busca precisamente poder utilizar la multifuncionalidad de la infraestructura verde para integrar actores, conocimientos y disciplinas en el desarrollo de proyectos, tanto del área pública como privada.

7

Estrategia Nacional de Biodiversidad

Elaborado de forma conjunta entre el MMA y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) para un horizonte de implementación de 13 años (2017-2030), la Estrategia pretende impulsar la conservación de la biodiversidad chilena en sus distintos niveles garantizando el acceso a los bienes y servicios ecosistémicos de generaciones presentes y futuras, y fomentando la capacidad del país de restaurar y resguardar el patrimonio natural. Para ello propone distintos ejes temáticos, lineamientos estratégicos, objetivos, actividades y metas.

*

Uno de los lineamientos estratégicos de esta Estrategia Nacional es el **generar acciones para la protección y recuperación de la biodiversidad en asentamientos urbanos y periurbanos e implementar infraestructura ecológica que la potencie**, entendiéndose como infraestructura ecológica a la red estratégicamente diseñada de ecosistemas naturales, seminaturales y antropogénicos que provee de un amplio rango de servicios ecosistémicos y bienestar a los habitantes de un territorio. Aún más, en el Plan de Acción Nacional asociado a esta estrategia se plantea como necesaria la actividad de restaurar ecosistemas degradados o amenazados como mecanismo de adaptación para atenuar los riesgos por desastres ocasionados por el cambio climático y recuperar la infraestructura ecológica.

PRINCIPALES INSTRUMENTOS INDICATIVOS Y NORMATIVOS NACIONALES

En este apartado, se hace una síntesis de las principales normas vigentes aplicables a los proyectos de drenaje urbano sostenible en Chile. Esta información permite conocer el marco legal que se aplicaría en la ejecución de proyectos de DUS, e identificar oportunidades a partir de su interpretación.

* ¿Cómo se alinean los instrumentos indicativos y normativos nacionales al enfoque de Drenaje Urbano Sostenible basado en infraestructura verde?

1

D.F.L. N°1.122: Código de Aguas

Publicado en 1981, el Código de Aguas es el cuerpo normativo vigente que regula los derechos de aprovechamiento de agua, los procesos administrativos y las organizaciones de usuarios entre los que identifican las comunidades de agua, las asociaciones de canalistas y las juntas de vigilancia. Además, es la norma orgánica de la creación de la Dirección General de Aguas (DGA), entidad parte del MOP.

*

El Código de Aguas le otorga la facultad de uso y aprovechamiento a los privados de las aguas lluvias que precipitan sobre su terreno mientras escurren sobre este (Artículo 10), lo que **permite a los dueños implementar soluciones a nivel de escala domiciliaria**. Además, el código le permite al dueño de un predio servirse, de acuerdo con las leyes y ordenanzas correspondientes, de las aguas lluvias que corren por un camino público y torcer su curso para utilizarlas (Artículo 11).

2

D.F.L N° 458: Ley General de Urbanismo y Construcciones (LGUC) y Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC)

Este Decreto con Fuerza de Ley publicado el año 1976 entrega las disposiciones relativas a la planificación urbana a 3 escalas: (1) Nivel Nacional, a través del MINVU y materializada en la OGUC; (2) Nivel Intercomunal, mediante el Plan Regulador Intercomunal a cargo de las SEREMIS de MINVU; y (3) Nivel Comunal, a través del Plan Regulador Comunal cuya creación y modificación es responsabilidad municipal o por Planes Sectoriales. La OGUC actúa como el reglamento de la LGUC normando el proceso de planificación urbana, el proceso de urbanización y los estándares de diseños de ambos.

*

Según la OGUC, las instalaciones, redes o trazados de aguas lluvias se identifican como infraestructura sanitaria, entendiéndose por redes o trazados todos los componentes de conducción, distribución, traslado o evacuación de AALL (Artículo 2.1.29). Bajo este artículo, **los elementos de IV utilizados explícitamente como soluciones de la red de drenaje urbana debieran ser entendidos como instalaciones de infraestructura sanitaria**. De la misma forma que la LGUC, la OGUC establece que los urbanizadores deben ejecutar a su costa las instalaciones sanitarias con sus obras de alimentación y desagüe de aguas lluvias y que en edificios de 3 o más pisos o en cualquiera que coincida la línea de edificación con la línea oficial, las aguas lluvias provenientes de las áreas impermeables (cubiertas, terrazas, patios descubiertos, entre otros) no podrán derramarse directamente sobre los terrenos adyacentes y sobre espacios o vías de uso público, debiendo ser debidamente canalizadas en su recorrido hacia el nivel de vertimiento. Para cumplir con ese requisito, los proyectistas deben proponer un sistema, a aprobar por la Dirección de Obras Municipales, que demuestre que el derrame de las AALL sobre el terreno no ocasionará molestias al tránsito peatonal.

3

Ley N° 19.525: Ley de Drenaje Urbano

Promulgada el año 1997, regula los sistemas de evacuación y drenaje de aguas lluvias estableciendo que las ciudades y centros poblados deben contar con sistemas de evacuación y drenaje de aguas lluvias **que impidan el daño a las personas, viviendas e infraestructura urbana en general**. Encarga al MOP la planificación, construcción, mantenimiento y mejoramiento de la red primaria y la generación de **planes maestros de aguas lluvias** (PM) que definen los límites de la red primaria en ciudades de más de 50.000 habitantes. Responsabiliza al MINVU de la planificación, construcción y mantenimiento de la red secundaria.

Para más detalle sobre la red primaria y secundaria, revisar el instrumento de Planes Maestros en esta sección.

*

Esta es la principal norma de regulación para los sistemas de gestión de las aguas lluvias en Chile y por ende aquella sobre la que el enfoque de DUS se debe regir. Además de otorgar las responsabilidades de diseño e implementación de los distintos elementos de la red entre las que se encuentra la obligación de los urbanizadores de hacerse cargo de las aguas lluvia, la ley establece en su artículo 6 la **obligación de considerar acciones para evitar la erosión y deforestación como elementos constituyentes de los planes maestros de aguas lluvias**. El uso de IV puede considerarse directamente como parte de estas acciones.

4

Ley N°20.958 de Aporte al Espacio Público

Publicada en 2016, esta Ley busca mejorar los procesos de mitigación de los impactos negativos de los proyectos de urbanización sobre la infraestructura vial y el espacio público.

*

Esta ley presenta una oportunidad para los municipios de financiar y planificar a largo plazo una red de infraestructura verde que permita hacer una transición hacia sistemas de drenaje urbano sostenible y que mejore la calidad de los espacios públicos de la comuna. Esto, gracias a la disposición que permite a los proyectos de urbanización del tipo crecimiento por densificación cumplir con el Artículo N°70 de la Ley General de Urbanismo y Construcciones a través de un aporte a la municipalidad equivalente al avalúo fiscal del porcentaje de terreno que deberían ceder según el mismo artículo. Estos aportes ayudan a financiar el plan de inversiones en infraestructura de movilidad y espacio público de las municipalidades que debe contener una **cartera de proyectos que permitan mejorar las condiciones de conectividad, accesibilidad, operación, movilidad, calidad de los espacios públicos, cohesión social y/o sustentabilidad urbana de la comuna**.

5

Ley N° 21.202: Ley de Humedales Urbanos

Promulgada el año 2020, esta ley tiene como objetivo la protección de los humedales urbanos declarados como tal por el MMA bajo petición del municipio respectivo. Entre otras cosas, modifica la ley N°19.300 de Bases Generales del Medio Ambiente incorporando a los humedales urbanos como elementos de protección cuya posible alteración es justificación para someter un proyecto al servicio de evaluación ambiental. La ley ordena un reglamento que establece los criterios mínimos para resguardar sus funciones ecológicas.

*

Los humedales urbanos son ecosistemas de gran importancia a la hora de diseñar sistemas de drenaje urbano sostenible. Cualquier proyecto de DUS que involucre el uso de humedales que hayan sido declarados como humedales urbanos a través de esta norma deberá **asegurar la preservación de la calidad de sus aguas y de su flujo hidrológico** según el reglamento correspondiente.

PRINCIPALES INSTRUMENTOS INDICATIVOS Y NORMATIVOS REGIONALES

1

Planes Regionales de Ordenamiento Territorial

A través de la modificación de la Ley Orgánica Constitucional sobre Gobierno y Administración Regional (Ley 19.175, publicada en 2018) y de la promulgación de la Ley de Fortalecimiento de la Regionalización del País (Ley 21.074), se mandata a los Gobiernos Regionales, a través de su División de Planificación y Desarrollo Regional, desarrollar los Planes Regionales de Ordenamiento Territorial (PROT). Estos planes deben ser coherentes con la Estrategia Regional de Desarrollo (EDS) y aportar las definiciones territoriales y espaciales que estructuran la visión de la región en términos espaciales de usos y sus equipamientos.

Según la última modificación de la Ley 19.175, el PROT es un instrumento que orienta la utilización del territorio de una región para lograr su desarrollo sustentable y que establece las condiciones de localización de los distintos tipos de residuos y sus sistemas de tratamiento. Tiene un carácter obligatorio para los ministerios y servicios públicos que operan en la región. Debe incorporar un diagnóstico de las características, tendencias, restricciones y potencialidades del territorio, así como también la imagen objetivo y las alternativas de estructuración del territorio. La ley establece que debe ser renovado como mínimo cada 10 años y que hasta que no se aprueben nuevos PROT asociados a la modificación, siguen vigentes tanto los PROT antiguos como PRDU (eliminados con la modificación).

Producto de la reciente modificación de la Ley 19.175, la mayoría de los PROT vigentes de las regiones del sur de Chile de interés en este proyecto no se encuentran actualizados y están a la espera del Reglamento.

Por lo anterior, no es posible aún hacer una revisión de las convergencias que se presentan entre los lineamientos de estos planes y las temáticas de drenaje urbano sostenible basado en IV. Sin embargo, **el hecho de que estos instrumentos deban ser actualizados una vez que el Reglamento se concrete configura en sí una oportunidad para que estas temáticas sean visualizadas, anticipadas e incorporadas a un nivel regional.**

2

Estrategia Regional de Desarrollo

Vale la pena destacar la oportunidad que representan para las planificaciones de sistemas de drenaje sostenible a escala de ciudad, los lineamientos que se elaboran en las Estrategias Regionales de Desarrollo (ERD) por los Gobiernos Regionales en virtud de lo establecido en la Ley Orgánica Constitucional N°19.175. Estas corresponden a los instrumentos rectores a mediano y largo plazo del desarrollo regional que permiten diseñar, elaborar y aprobar programas y proyectos de desarrollo que orientan y norman la conducta del accionar público y se constituyen como un marco orientador de decisiones privadas. La alineación de los proyectos DUS con los objetivos y líneas de acción de las ERD puede abrir importantes fuentes de financiamiento y la consideración de los principios que esta guía propone en la elaboración de las propias Estrategias Regionales de Desarrollo es una oportunidad para promover regiones resilientes y sostenibles.

PRINCIPALES INSTRUMENTOS INDICATIVOS Y NORMATIVOS COMUNALES

A nivel comunal se detectan 4 elementos que pueden contribuir al drenaje urbano sostenible, estos son: Plan de Desarrollo Comunitario (PLADECO) Plan Regulador Comunal (PRC), Sistema de Certificación Ambiental Comunal (SCAM) y Plan Maestro de Aguas Lluvias (PM).

1

Plan de Desarrollo Comunitario (PLADECO)

Corresponde al principal instrumento de planificación y gestión de la organización comunal que poseen los municipios. Representa la visión de futuro de la comuna y las estrategias para alcanzarla. El PLADECO propone iniciativas, programas y proyectos destinados a impulsar el desarrollo sostenible de la comuna en distintas áreas de desarrollo (Infraestructura, Educación, Salud, Desarrollo productivo, entre otros). Cabe destacar que todas las iniciativas del plan deben estar asociadas a algún tipo de financiamiento.

La presencia o no de proyectos o iniciativas asociadas a los sistemas de drenaje urbano sostenibles en el PLADECO de cada comuna dependerá, entre otras cosas, de la preocupación municipal y la percepción de la comunidad.

2

Plan Regulador Comunal (PRC)

Instrumento de planificación territorial amparado en el Artículo 41 de la LGUC. Contiene un conjunto de disposiciones sobre adecuadas condiciones de edificación, y espacios urbanos y de comodidad en la relación funcional entre las zonas habitacionales, de trabajo, equipamiento y esparcimiento. Dichas definiciones deben promover el desarrollo armónico del territorio comunal en concordancia con las metas regionales de desarrollo.

Los PRC están compuestos por una memoria explicativa, factibilidad de servicios sanitarios, planos y ordenanza. En conjunto, aportan una imagen sobre la ciudad en términos de su expresión física-espacial y también desde la dimensión funcional y de sus procesos.

El PRC no es el instrumento que gestiona las aguas lluvias urbanas, sin embargo, tiene un poder de influencia muy alto sobre las mismas, tanto por las regulaciones especiales que establece sobre el suelo (y por lo tanto, de la permeabilidad o impermeabilidad del mismo), como por su ordenanza. Esta última es igualmente importante, dado que **puede exigir, por ejemplo, que las aguas lluvias de los terrenos privados o incluso de los nuevos desarrollos urbanos sean tratadas antes de llegar al espacio público por medio de técnicas de infiltración y acumulación domiciliaria**. Sin ir más lejos, el Plan Regulador Metropolitano de Santiago (PRMS) así lo establece.

3

Sistema de Certificación Ambiental Comunal (SCAM)

Sistema de carácter voluntario al que las municipalidades suscriben y que les permite instalarse en el territorio como un modelo de gestión ambiental, asegurando que el **factor ambiental está integrado en la orgánica municipal**, la infraestructura, el personal, los procedimientos internos y los servicios que prestan a la comunidad. Además, se deberá desarrollar una Estrategia Ambiental Comunal, un instrumento de acción que busca abordar de manera sistemática los principales conflictos o situaciones ambientales presentes en el territorio comunal.

El SCAM considera la participación ciudadana a través de la constitución de los Comités Ambientales Comunales, que se crean a instancias del Municipio y que son integrados por personas naturales de la sociedad civil.

La certificación cuenta con cinco niveles, cada uno más exigente que el anterior, y el Municipio puede ir subiendo de nivel a medida que cumple con los requisitos que se exigen para cada uno.

El Plan Maestro de Aguas Lluvias y la red de drenaje urbano

Corresponde al instrumento de planificación de la infraestructura para el manejo de las aguas lluvias de un territorio, y tiene por objetivos definir la red primaria de aguas lluvias, diagnosticar los problemas de drenaje de una zona y proponer soluciones. Su elaboración y ejecución es de responsabilidad del Ministerio de Obras Públicas a través de la Dirección de Obras Hidráulicas de acuerdo a la Ley N°19.525.

Conocer el Plan Maestro de la ciudad en que un urbanizador pretende iniciar un proyecto de aguas lluvias es importante, porque definirá si los sistemas deben conectarse a la red primaria o secundaria y con ello la entidad a la que necesitan solicitar la aprobación.

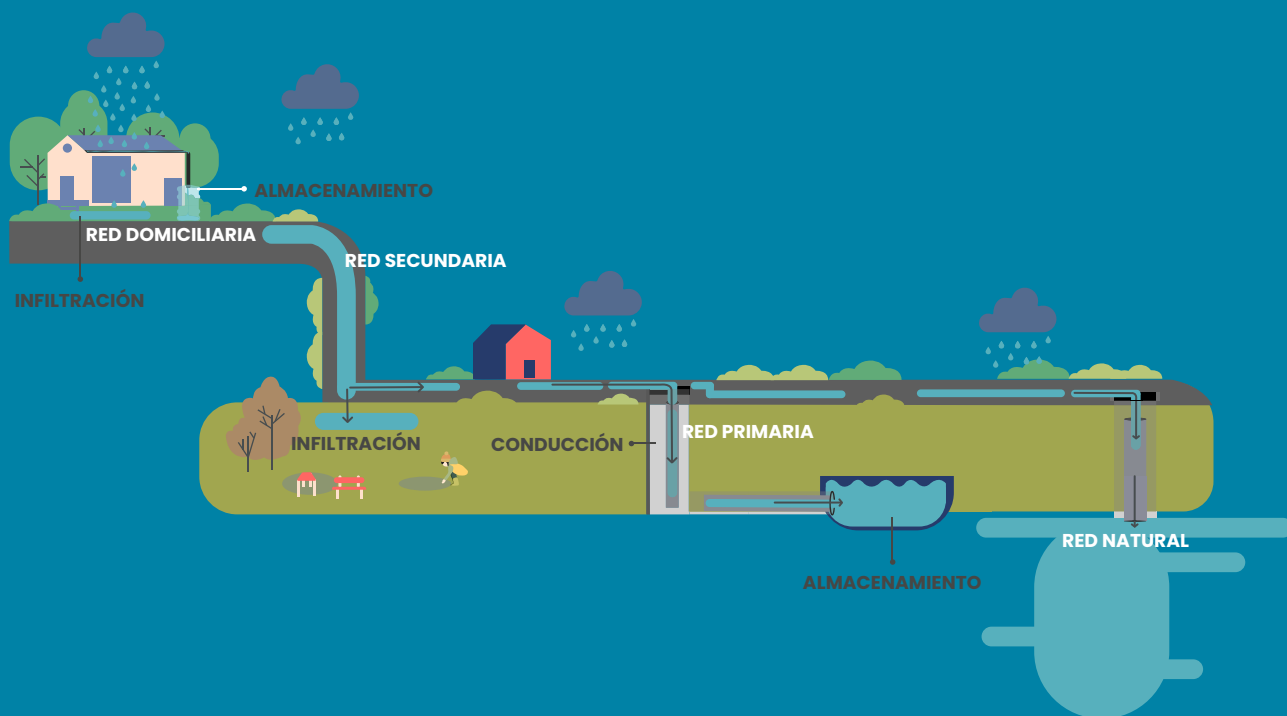
Los Planes Maestros deben ser elaborados por ley para todos los centros poblados de más de 50.000 habitantes lo que no impide que sean, además, formulados para territorios de menor población. Además, son comúnmente diseñados por ciudad, pero por normativa deben considerar la situación de la cuenca hidrográfica y contener todas las acciones que sean requeridas para evitar su erosión y deforestación. En los Planes Regionales de Infraestructura y Gestión del Recurso Hídrico (PRIGRH), disponibles en el sitio web de la Dirección de Planeamiento del MOP, es posible encontrar la cartera de actividades a largo plazo que incluyen el diagnóstico y construcción de planes maestros de nuevas comunas y actualización y ampliación de otras. Si una comunidad (municipio o entidad regional) está interesada en realizar un plan maestro que no está programado en la cartera de actividades, debe ingresar una solicitud a la Dirección Regional de Obras Hidráulicas.

En la actualidad, las etapas de desarrollo de un Plan Maestro de Aguas Lluvias incluyen la recopilación de antecedentes, los estudios básicos, la identificación de la estructura existente, el diagnóstico y proposición de alternativas, la simulación, análisis y selección de alternativas, el desarrollo de las alternativas de solución y un informe final. Finalmente, son aprobados por decreto supremo con firma tanto del MOP como del MINVU.

Siempre que exista un Plan Maestro de Aguas Lluvias, se reconocerán en la red de drenaje urbano 4 tramos con distintos actores claves y organismos responsables: red domiciliaria, red secundaria, red primaria y red natural.

- **Red Domiciliaria:** Parte del sistema de gestión de las aguas lluvias que queda al interior de domicilios y pertenece a privados. Aquí los actores claves en la implementación de proyectos son los dueños de los predios y la Dirección de Obras Municipales (DOM) quienes deben aprobar la construcción y recepción de obras. En general, las obras a nivel domiciliario no contemplan procedimientos específicos y solo se especifican restricciones para el caso de edificios de tres o más pisos en la OGUC.
- **Red Secundaria:** A partir de la Ley N°19.525 se deduce que esta red corresponde a todo el espacio físico por el que transitan las aguas lluvias desde que dejan la red domiciliaria hasta que ingresan a la red primaria o red natural. La planificación y construcción de la red secundaria le corresponde al MINVU a través de SERVIU, sin embargo, los propietarios de un terreno con intención de urbanizar deben ejecutar a su costa las instalaciones de aguas lluvias necesarias, incluyendo aquellas que son ubicadas en espacios de utilidad pública según los Instrumentos de Planificación Territorial. En estos casos, la DOM es un tercer actor clave, pues concederá los permisos de loteo y urbanización para los cuales los urbanizadores deben presentar los planos de los proyectos incluyendo los correspondientes a las redes de aguas lluvias (OGUC, artículo 3.1.15). Para los efectos de conservación, el MINVU será el organismo encargado de llevar a cabo las actividades de mantenimiento de toda la red secundaria, independiente de si las obras fueron construidas por un urbanizador o por el propio SERVIU. **Por todo lo anterior, resulta necesario para lograr aplicar de forma sostenida el enfoque de esta guía en la red, que tanto SERVIU como urbanizadores y Municipalidades, fortalezcan su conocimiento sobre la planificación, diseño, ejecución y conservación de la infraestructura verde.**
- **Red Primaria:** Según la misma ley que regula los sistemas de evacuación y drenaje de aguas lluvias (Ley N°19.525), la red primaria corresponde a todo aquello que queda descrito en los planes maestros de aguas lluvias, y que por tanto, queda a definición del MOP a través de la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH). Los proyectos de drenaje urbano que en ella se ejecutan, tienen generalmente por titular al mismo MOP, a los gobiernos regionales o a concesionarios. Los elementos que descarguen a esta red, por ejemplo, los sistemas de la red secundaria, deben ser aprobados por la DOH. Nuevamente, el grado de conocimiento sobre la planificación, diseño, implementación y conservación de las soluciones de infraestructura verde por parte de todos los actores involucrados en esta red, será clave para la aplicación del enfoque.

- **Red Natural:** Corresponden a los cuerpos de aguas que forman parte del drenaje natural de una cuenca y actúan como receptores finales. Entre ellos se encuentran ríos, quebradas, esteros, lagos o el mar. Cuando se deseen ejecutar proyectos directamente sobre estos elementos de infraestructura verde, será necesaria la aprobación de la DOH en caso que se trate de obras del tipo de defensa de cauces, o de la DGA, cuando impliquen la modificación en cualquier grado del escurrimiento natural. Este último organismo es también el encargado de aprobar cualquier descarga sobre la red natural, ya sea proveniente de la red secundaria o primaria.



¿QUÉ PASA CUANDO NO EXISTE UN PLAN MAESTRO DE AGUAS LLUVIAS?

En los centros urbanos en que no existe PM, no se reconocen subdivisiones de red secundaria y red primaria. Según el artículo transitorio N°2 de la Ley N°19.525, “no será exigible a los urbanizadores la construcción de colectores de aguas lluvias mientras no se haya aprobado el plan maestro correspondiente al área en que se encuentre ubicado el terreno que será urbanizado, **debiendo emplearse otro sistema de evacuación de aguas lluvias**”.

La DOM se encuentra encargada, según la OGUC e independiente de la existencia de un Plan Maestro de aguas lluvias, de dar aprobación a la construcción y recepción de las obras de urbanización incluyendo las instalaciones sanitarias como las obras de aguas lluvias que fueren necesarias (artículos 2.2.4 y 3.4.1) y de aprobar las soluciones de aguas lluvias propuestas para dar cumplimiento al artículo 4.1.16 de la OGCU según la cual los edificios de 3 o más pisos en que coincida la línea de edificación con la línea oficial no pueden derramar aguas lluvia directamente sobre el terreno adyacente. Por lo anterior, y **dado que en dichas ciudades las conexiones de los sistemas no requieren de aprobación del SERVIU o MOP, la Dirección de Obras Municipales tiene la oportunidad de convertirse en un actor protagonista en impulsar la aplicación de soluciones con enfoque sostenible basados en el uso de IV.**

¿EXISTEN GUÍAS O MANUALES DE DISEÑO DE PROYECTOS DE DRENAJE URBANO EN CHILE?

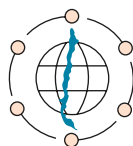
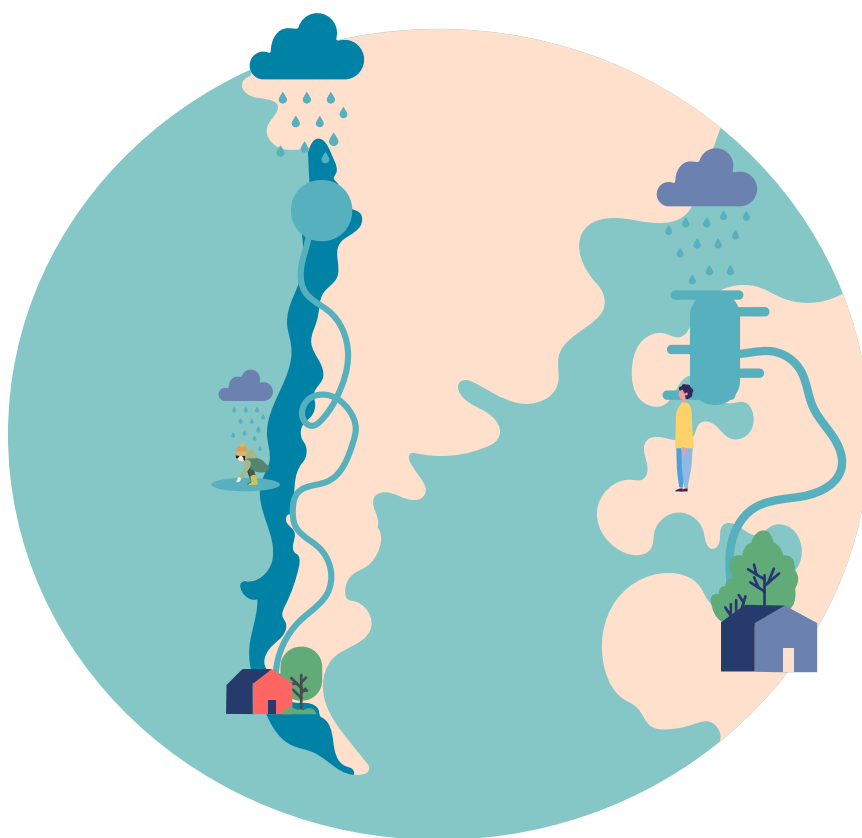
Además de las leyes y decretos, existen guías nacionales desarrollados por organismos públicos con el objetivo de estandarizar las técnicas de diseño de los sistemas de drenaje. La primera guía titulada **“Técnicas alternativas para soluciones de aguas lluvias en sectores urbanos”** fue desarrollada en 1996 por el MINVU, reconociendo distintos problemas asociados con el enfoque convencional de manejo de aguas lluvias y proponiendo soluciones llamadas en ese entonces “alternativas”, que fomentan la infiltración y desincentivan la impermeabilización. Luego de la promulgación de la Ley 19.525, el mismo organismo elaboró el manual **“Guía de Diseño y Especificaciones de Elementos Urbanos de Infraestructura de Aguas Lluvias”** (2005). Ambos documentos de carácter indicativo deben ser considerados en todo tipo de obras que se contraten, aprueben, supervisen o ejecuten por el MINVU, SERVIU, las Municipalidades y, en general, por todo organismo público o privado según los Decretos N°3 y N°180.

Posteriormente, el año 2013, la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH) del MOP desarrolla el **“Manual de Drenaje Urbano: Guía para el diseño, construcción, operación y conservación de obras de drenaje urbano”** buscando proveer una referencia de consulta a proyectistas, constructores y urbanistas en el desarrollo de proyectos de drenaje urbano en todo su ciclo de vida. **El documento, de gran profundidad y detalle técnico, revisa soluciones a los problemas más frecuentes del drenaje urbano**, evidenciando el rol de la red natural en la planificación territorial. Aún más, propone políticas y estándares del drenaje urbano, revisando los aspectos legales asociados a su implementación. El manual sienta las bases para el desarrollo de sistemas de drenaje sostenibles reinterpretando el rol de estas soluciones, sin embargo, no toma en consideración la realidad de la macrozona sur o el potencial hidrológico de los distintos componentes del paisaje. **Sin duda, este es un instrumento recomendado para revisar aspectos legales, detalle técnico de los estudios básicos y detalle técnico del diseño hidráulico de obras.**

Lamentablemente, aun cuando el camino recorrido por ambas instituciones (MOP y MINVU) ha buscado tomar en consideración el problema de la contaminación por aguas lluvias y la impermeabilización de suelos fomentando la infiltración, los documentos indicativos no han logrado modificar las acciones globales con respecto a la materia.

Brechas, desafíos y oportunidades

Para el drenaje sostenible en Chile



En la actualidad, en Chile, las soluciones de drenaje urbano sostenible (DUS) se siguen viendo como “alternativas”, a pesar de que la experiencia internacional ha demostrado que este tipo de obras son en realidad una parte integral y fundamental de los sistemas de drenaje urbano. Para que las soluciones de DUS sean aplicadas en el contexto local, se requiere con urgencia un cambio de paradigma, en donde este tipo de medidas se dejen de ver como alternativas o se valoren solo por ser “verdes” o “sustentables” -conceptos que parecieran entenderse más como un tema paisajístico-, y se empiecen a valorar por su efectividad en solucionar los problemas de aguas lluvias y contaminación, así como por su **eficiencia en proveer buenas soluciones costo/beneficio en el corto y largo plazo.**

Las soluciones tradicionales no están abordando eficientemente

dos problemas fundamentales:

1

Inundaciones:

No es solo el clima, es la planificación y gestión del territorio.

De acuerdo a los organismos públicos consultados, los problemas de inundaciones urbanas están siendo cada vez más recurrentes. Un hecho que se le atribuye habitualmente al cambio climático, se están evidenciando lluvias más concentradas en periodos cortos de tiempo, es decir, lluvias más intensas. Paradójicamente, en los últimos años los datos duros muestran lo contrario: se ha presentado una leve tendencia a la baja, o a lo más, una normalidad, en la intensidad de la precipitación y en la precipitación máxima diaria desde Santiago hasta Puerto Montt (ver Sección C de este volumen).

Esto no quiere decir que el clima a futuro no vaya a cambiar, pero sí que el problema actual no reside necesariamente en el clima, sino que en factores más bien antrópicos, los cuales van desde la planificación urbana hasta la forma en cómo se están tratando las aguas lluvias. Esto ya que, además de los problemas de contaminación y deterioro ambiental, el enfoque convencional también acarrea contradictoriamente problemas de inundación: al impermeabilizar y evacuar rápidamente el agua lluvia de un sector, se está conduciendo un mayor volumen y con mayor velocidad a los sectores aguas abajo, cuyos sistemas finalmente colapsan ya que no fueron diseñados para este exceso de volumen en un periodo tan corto de tiempo.



2

Contaminación e impacto sobre los ecosistemas:

Las estrategias de manejo de aguas lluvias convencionales se basan en evacuar lo más rápido posible el agua lluvia de los centros urbanos, para así proteger la salud y la propiedad de las personas, pero esto, lamentablemente, en desmedro del ecosistema en el cual habitan. De hecho, la escorrentía producida por las superficies impermeables es uno de los factores claves en el deterioro y colapso de los sistemas de aguas naturales. Este impacto es especialmente relevante en ciudades que conviven con cuerpos de agua, sobre todo si basan su economía en el turismo, ya que un daño a sus ecosistemas puede afectar negativamente el potencial atractivo de la ciudad y su imagen.



PRINCIPALES BRECHAS

Chile sigue basando las estrategias de manejo de aguas lluvias mayoritariamente en soluciones tradicionales, a pesar de los esfuerzos que se han hecho para cambiar este enfoque y a la mayor información disponible hoy en día para implementar sistemas de aguas lluvias sustentables (p. ej. Manual de Drenaje Urbano del MOP, 2013). A través de las entrevistas realizadas en el desarrollo de esta guía a distintos actores públicos y privados, se identificaron brechas en Chile que dificultan la implementación de soluciones distintas a las tradicionales. Coincidentemente, estas brechas existen también en países con sistemas de drenaje urbano más desarrollados y con mayor experiencia en drenaje sostenible, como Estados Unidos y Australia (ver Roy et al., 2008).

1

Resistencia al cambio

La implementación de soluciones de DUS plantea un desafío, tanto para los desarrolladores privados como para las instituciones del Estado, pues existe una cierta aversión al riesgo frente a diseños no tradicionales de los cuales no se tiene mucha experiencia en el plano local. Tanto ingenieros como entidades reguladoras prefieren un diseño convencional y conocido, a pesar de sus limitaciones, frente a soluciones innovadoras (aunque probadas). Esta aversión al riesgo se termina transformando en un círculo vicioso, en el cual el desarrollador, por miedo a violar alguna norma o a que la institución reguladora no le acepte su diseño, termina optando por soluciones tradicionales; y la institución reguladora, por miedo a que la solución alternativa no sea efectiva y por falta de experiencia y conocimiento en este tipo de obras, termina cuestionando diseños distintos a los tradicionales.

Esta resistencia también puede nacer de parte de la comunidad, especialmente en soluciones a escala de barrio, en donde por desconocimiento a cómo funcionan y al rol que desempeñan, este tipo de obras pueden verse como ineficientes y poco atractivas.

2

Falta de regulación y legislación

Tal como se vio al inicio de esta sección, en Chile no existe una ley o una política pública que trate de manera integral el tema de las aguas lluvias, de inicio a fin, en términos de evacuación, drenaje, inundaciones, calidad del agua y ecosistema. Por el contrario, la legislación existente fragmenta la responsabilidad de las aguas lluvias entre distintos órganos públicos, y los proyectos de aguas lluvias deben cumplir con normas dependientes de distintos servicios, sin existir una relación clara entre ellos y pudiendo llevar a inconsistencias en términos de criterios, diseño y aplicación de soluciones no tradicionales.

3

Falta de capacidad institucional

Otra de las limitaciones en la manera en que actualmente se tratan las aguas lluvias, es la falta de capacidad técnica y de visión de los organismos a cargo de este tema (p. ej. DOH, SERVIU, municipios), especialmente en las direcciones regionales, en donde el foco, entendiblemente, suele estar puesto en la emergencia y en solucionar temas básicos, y la forma de actuar suele ser reactiva y con soluciones conocidas, pero no necesariamente óptimas. Pero esta falta de capacidad y visión también existe en el mundo privado: desarrolladores urbanos y proyectistas y proyectistas siguen siendo escépticos frente este tipo de soluciones, tanto por la incertidumbre en su efectividad y costo, como por la falta de incentivos (e incluso la existencia de desincentivos) para aplicarlas.

Esta resistencia al cambio se explica en parte por la falta de casos piloto y casos de estudio a nivel local, ya que la experiencia exitosa en zonas con distinto clima, regulaciones y realidad socioeconómica pareciera no ser suficiente para animar a los desarrolladores a implementar estas soluciones localmente. Empezar con planes piloto, de baja escala, a nivel local, y difundir sus resultados en términos de costos y beneficios podría ser entonces un buen punto de partida.

4

Responsabilidades fragmentadas

La fragmentación de responsabilidades en el manejo de aguas lluvias es también otra de las razones por la cual en Chile no se aplican adecuadamente sistemas de DUS. La legislación chilena le asigna al MOP la responsabilidad de hacerse cargo de la red primaria (manejo a nivel de ciudad) y al MINVU la responsabilidad sobre el sistema secundario (manejo a nivel de urbanización). No obstante, para que este tipo de soluciones sea efectiva es necesario abordar el problema desde una mirada integral, a nivel de cuenca, en donde se integre el sistema natural, primario, secundario y domiciliario y no se deleguen las responsabilidades sobre un organismo u otro. Esta integración es importante, ya que implementar obras de DUS aisladas y dispersas entremedio de una matriz de soluciones convencionales, si bien ayuda, no genera la sinergia necesaria para tener un impacto en el control de inundación y la calidad del agua a nivel global, y consecuentemente, se hace muy difícil medir sus beneficios en la población y el ecosistema.

5

Incertidumbre en desempeño y costo

Dentro de los mitos que rodean a las soluciones de DUS, y presumiblemente una de las razones por las que no se aplican en Chile a nivel público, tiene que ver con el costo de implementación y mantención. Por un lado, existe una concepción de que este tipo de soluciones se aplica solo a través de grandes obras (p. ej. parque La Aguada en Santiago), sin considerar que existen medidas simples y de bajo costo, como por ejemplo, recortar las soleras, que pueden ayudar tanto a la infiltración como a la descontaminación. Por otro lado, existe la idea de que mantener estas obras es prohibitivo para los municipios de bajos recursos, quedándose a cargo de un problema más que un activo. Esto es cierto en la medida en que las obras no se diseñen teniendo en cuenta la realidad local (tanto climática como económica). Si se adaptan las soluciones para cada lugar, el costo de mantención puede ser incluso más bajo que el de las soluciones tradicionales.

Por otra parte, dado que las soluciones de DUS pueden desempeñar un rol multifuncional, mezclar funcionalidad de aguas lluvias con otros objetivos como paisajismo y recreación debiese permitir mayores inversiones en base a un mayor beneficio social. Esta mirada multifuncional debe venir acompañada de una mayor flexibilidad en la asignación de fondos para este tipo de medidas, los cuales podrían venir de distintos sectores, dada las distintas necesidades que satisfacen. Es importante considerar, además, que las soluciones clásicas también requieren mantenciones periódicas para que funcionen adecuadamente, y por lo tanto, no están exentas de costos. El costo ambiental generado por las soluciones clásicas, sin embargo, se está traspasando directamente a la ciudadanía.

6

Falta de recursos e incentivos del mercado

Cambiar desde el enfoque tradicional hacia un drenaje urbano sostenible requiere una inversión inicial en términos de entrenamiento profesional, tanto a nivel público como privado. Reemplazar los sistemas de drenaje tradicionales ya existentes en áreas urbanas desarrolladas por soluciones de DUS también requiere inversión y voluntad. Existe además un costo oportunidad asociado a acomodar o destinar espacios públicos al manejo de aguas lluvias, frente a otro tipo de usos. Todo lo anterior requiere recursos y una adecuada evaluación socioeconómica que justifique esta inversión.

Por otra parte, no existen incentivos económicos que lleven a privados a adoptar soluciones tipo DUS frente a las soluciones tradicionales. En Chile, impermeabilizar y generar mayor escorrentía es gratis, y no hay un costo asociado a descargar aguas lluvias al sistema público de drenaje, como sí ocurre con las aguas servidas, cuyo costo va a las empresas sanitarias. Tampoco existen subsidios que permitan bajar los costos de implementación de sistemas DUS u obtener beneficios por disminuir la cantidad de agua lluvia generada y descargada al sistema. Este tipo de políticas existe en otros países y se aplica generalmente a nivel de municipios.

7

Insuficiencia de estándares y guías de diseño

Una de los estándares básicos en el manejo de aguas lluvias es mantener las condiciones de escorrentía pre-desarrollo a la hora de urbanizar. Lamentablemente, este requerimiento muchas veces se mal entiende, y se exige su aplicación solo para grandes tormentas (mayores a 100 años de periodo de retorno), con lo que se desincentiva el uso de soluciones de DUS por no tener la capacidad suficiente para hacerse cargo de estos grandes eventos. El resultado es que, para cumplir con el estándar, se opta finalmente por obras tradicionales o grandes estanques de retención, muchas veces de hormigón y sin usos alternativos, los cuales no son eficientes en el control de la escorrentía de lluvias frecuentes, por lo que su uso queda limitado a eventos que ocurren en promedio cada 100 años, desaprovechando el espacio público. La implementación de obras de DUS simples, con capacidad para solucionar problemas durante las lluvias frecuentes y alivianar la carga al sistema para eventos mayores, son dejadas de lado por no caber dentro del estándar o norma.

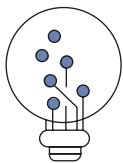
Las guías de diseño existentes, y específicamente el Manual de Drenaje Urbano del MOP (2013), contienen una gran cantidad de información, que va desde lo normativo y legal hasta la planificación y diseño de obras de DUS. Sin embargo, esta guía tiene algunas limitaciones. En primer lugar, la guía no ha sido ampliamente difundida a nivel público y privado ni se aplica incluso dentro del mismo Ministerio. En segundo lugar, sin bien la guía está enfocada a todo Chile, hace falta una mirada más focalizada y específica a las distintas macrozonas del país, entendiendo mejor los territorios en términos de ecosistema y clima. En tercer lugar, la guía es demasiado amplia, y abarca muchos temas específicos y técnicos, con lo que su público objetivo termina siendo muy reducido y aleja a mucha gente por las dificultades para entenderla. Todas estas limitaciones hacen que una persona que quiera implementar un sistema de DUS, ya sea a escala domiciliaria o mayor, no tenga hoy un referente disponible para hacerlo.

OPORTUNIDADES Y PROPUESTAS DE SOLUCIÓN

A partir del análisis de diversas fuentes y experiencias, se identifican brechas en distintos niveles, que a su vez dan luces para identificar oportunidades y esbozar algunas propuestas de solución. Aquí se muestra una síntesis de brechas y oportunidades y se detalla la forma en que estas pueden ser adaptadas al contexto nacional.

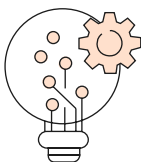
1

Resistencia al cambio



Oportunidad

Educar, hacer parte a la comunidad y generar conciencia a través de demostraciones. Mostrar el beneficio a la gente (p. ej. mejor equipamiento urbano, paisajismo, plusvalía) para mejorar la aceptación.

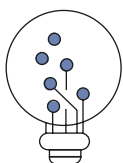


Propuesta

Educar y generar conciencia a través de la difusión del material de esta y otras guías. Usar un plan piloto como modelo.

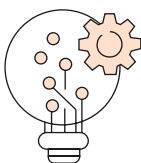
2

Falta de regulación y legislación



Oportunidad

Fomentar el desarrollo de regulaciones y leyes desde la ciudadanía (el uso de soluciones de DUS no requiere necesariamente regulación para implementarse de forma masiva, pero la falta de regulación impide un uso consistente a lo largo de la cuenca).

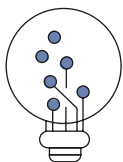


Propuesta

Interactuar con tomadores de decisión a nivel local para impulsar el desarrollo de ordenanzas. Educar a la ciudadanía para que entiendan y apoyen estas medidas.

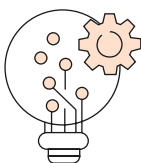
3

Falta de capacidad institucional



Oportunidad

Realizar talleres para difundir de manera eficiente la información de estudios, impactos y soluciones de manejo de aguas lluvias y sensibilizar a ingenieros, planificadores y tomadores de decisión sobre la importancia de utilizar este enfoque.

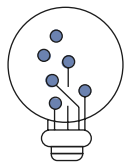


Propuesta

Difundir los resultados de proyectos exitosos a través de talleres, congresos y seminarios que cuenten con la participación de académicos, ingenieros, planificadores y profesionales del estado para que ellos luego empujen el desarrollo de medidas de DUS en sus instituciones.

4

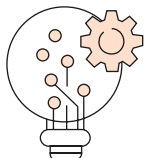
Responsabilidades fragmentadas



Oportunidad

Mejorar la colaboración entre instituciones del estado, incluir a municipios y desarrollar planes de aguas lluvias en conjunto.

Integrar a otros actores relevantes que participan en el ciclo del agua: desarrolladores urbanos, empresas sanitarias, etc.

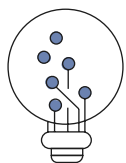


Propuesta

Desarrollar talleres que permitan la interacción entre los distintos actores. Crear una mesa del agua que opere periódicamente.

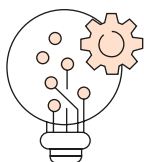
5

Incertidumbre en su desempeño y costo



Oportunidad

Desarrollar investigación en desempeño y costo de soluciones de DUS. Estudiar los costos y beneficios en comparación a soluciones convencionales. Generar evidencia de que este tipo de soluciones funciona y es sustentable, aumentando así la confianza para implementar estos sistemas.

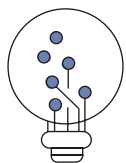


Propuesta

Desarrollar un plan piloto que incluya monitoreo. Realizar una evaluación ex post del proyecto. Incorporar métricas ambientales.

6

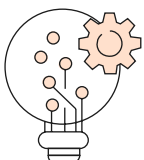
Falta de recursos e incentivos al mercado



Oportunidad

Usar un sistema tarifario aplicado a privados, proporcional al volumen de escorrentía generado, para incentivar el uso de sistemas de DUS. Generar incentivos financieros (subsidios o reducción de tarifas) a quienes reducen la escorrentía. Este mecanismo internaliza el costo ambiental en cada individuo, y los beneficios sirven a un bien común.

Generar un mercado en base a compensaciones, donde un privado que no pueda hacerse cargo la calidad de su agua lluvia (p. ej. por ser muy costoso) pueda financiar un proyecto de DUS en otro lugar.

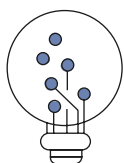


Propuesta

Promover el desarrollo de estudios o tesis para analizar este tipo de medidas y su aplicación legal en Chile.

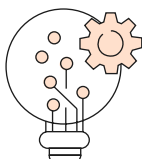
7

Insuficiencia de estándares y guías de diseño



Oportunidad

Definir estándares que busquen mantener las condiciones hidrológicas naturales o seminaturales (p. ej. no aumentar la escorrentía). Incorporar requisitos de calidad del agua.



Propuesta

Incorporar estos estándares en la OGUC o en ordenanzas municipales. Promover el uso del Manual de Drenaje Urbano de la DOH y de la presente guía.

OBJETIVOS DE DISEÑO: ¿DÓNDE PONER EL FOCO?

En términos de diseño de sistemas de DUS, es importante entender que no es necesario que todas las obras sean capaces de hacerse cargo de eventos extraordinarios de lluvia (p. ej. de altos periodos de retorno), sino que, por el contrario, se requieren también muchas obras pequeñas que ayuden a mitigar los daños y molestias que se originan durante tormentas pequeñas y frecuentes. Estas obras menores pueden ser complementadas luego con un sistema de drenaje mayor, el cual se activa solo cuando la capacidad de las obras menores es sobrepasada.

La separación conceptual entre un sistema de drenaje menor (para lluvias frecuentes) y un sistema de drenaje mayor (para periodos de retorno altos) abre el espacio para que se puedan implementar **soluciones simples y de bajo costo**, las cuales no suelen aplicarse debido a que por sí solas no parecieran aportar a resolver los problemas que originan las grandes inundaciones. Sin embargo, en su conjunto **ayudan a solucionar las molestias de lluvias frecuentes y a descomprimir la capacidad del sistema de drenaje mayor. A esto se suma el aporte que generan en términos de calidad del agua.**

Esta mirada de soluciones simples, de bajo costo, y ubicadas en la fuente, derriba una barrera de entrada importante para la implementación de nuevos sistemas de aguas lluvias, ya que no deben cargar con la presión de tener que contener eventos extremos para ser consideradas efectivas. **El aprovechamiento de la infraestructura verde, en combinación con la infraestructura gris, puede ayudar a reducir brechas en infraestructura de aguas lluvias, especialmente en lugares que por falta de presupuesto aún no cuentan con soluciones efectivas.**

REFERENCIAS:

Chile Agenda 2030. (s.f.). Seguimiento. Chile Agenda 2030: Objetivos de Desarrollo Sostenible. Recuperado de: <http://www.chileagenda2030.gob.cl/seguimiento/ods-1>

Consejo Nacional de Desarrollo Urbano. (2018). *Sistema de Indicadores y Estándares de Calidad de Vida y Desarrollo Urbano*. Recuperado de <https://cndu.gob.cl/wp-content/uploads/2018/03/1.-PROPUESTA-SISTEMA-DE-INDICADORES-Y-EST%C3%81NDARES-DE-Desarrollo-urbano.pdf>

Naciones Unidas. (2017). Nueva Agenda Urbana. En *Conferencia de las Naciones Unidas sobre la Vivienda y el Desarrollo Urbano Sostenible, Quito, Ecuador*. Recuperado de <https://onuhabitat.org.mx/index.php/la-nueva-agenda-urbana-en-espanol>

Roy, A. H., Wenger, S. J., Fletcher, T. D., Walsh, C. J., Ladson, A. R., Shuster, W. D., ... Brown, R. R. (2008). Impediments and solutions to sustainable, watershed-scale urban stormwater management: lessons from Australia and the United States. *Environmental management*, 42(2), 344-359.

Secretaría de la Convención de Ramsar. (2015). El Cuarto Plan Estratégico para 2016-2024. En *12ª Reunión de la Conferencia de las Partes, Punta del Este, Uruguay*. Recuperado de: <https://ramsar.org/es/documento/el-cuarto-plan-estrategico-de-ramsar-para-2016-2024>

SECCIÓN C

Contexto macrozonal

1

Caracterización climática, hidrológica e hidrográfica



La comprensión del territorio, desde un punto de vista climático, hidrológico e hidrográfico, es fundamental para el manejo de aguas lluvias en el enfoque de drenaje urbano sostenible. Las caracterizaciones que aquí se presentan permiten incorporar la particularidades que cada una de las ciudades que componen la macrozona sur presentan, principalmente en torno a los patrones de precipitación, cuencas hidrográficas, humedad, entre otros parámetros de relevancia.



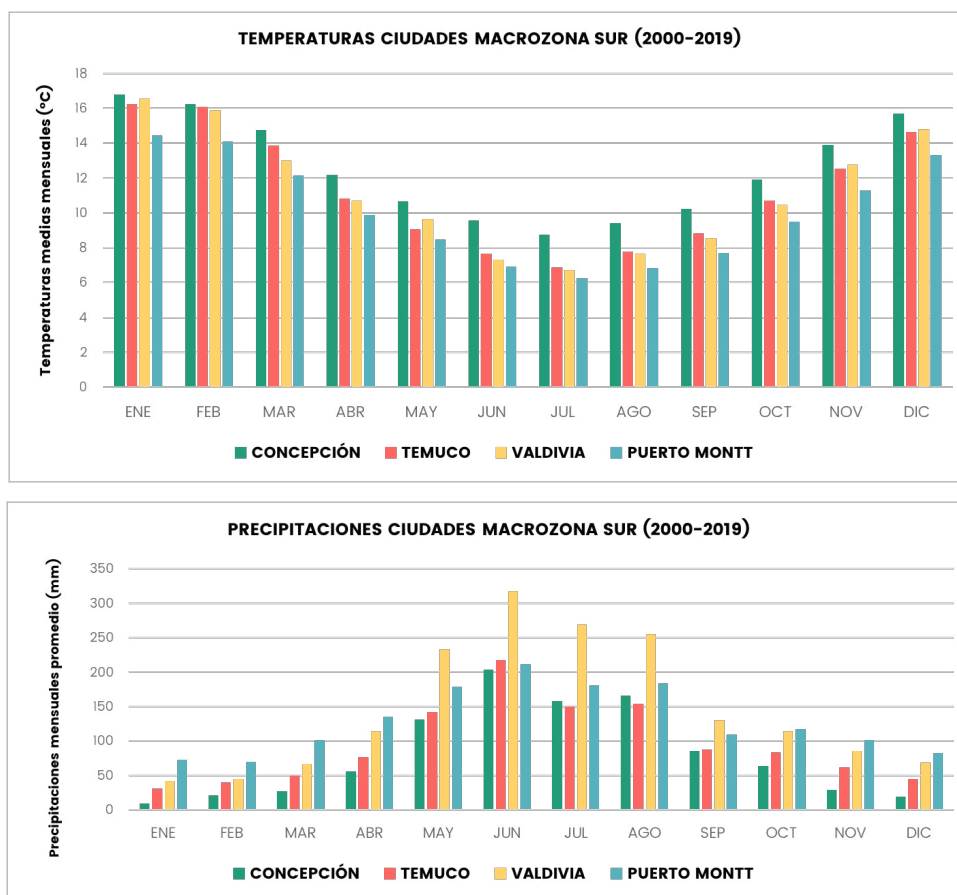
Descripción climática

En términos generales, las características climáticas de Chile están determinadas por la presencia de las cordilleras de la Costa y de los Andes; por una amplia extensión en términos latitudinales; y por las influencias del Anticiclón del Pacífico, de la corriente fría de Humboldt y del Frente Polar. Estos factores confieren marcadas diferencias en las características climáticas, variando de norte a sur, y en función de la altitud.

La macrozona sur de Chile la conforman las regiones de Biobío, La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos. Esta macrozona se caracteriza por presentar una transición norte-sur de clima mediterráneo a templado oceánico de costa occidental ('Csb' y 'Cfb', respectivamente, según clasificación climática Köppen-Geiger) (Sarricolea et al., 2017), con abundantes precipitaciones que aumentan de norte a sur y un promedio de 2.420 mm/año (Dirección General de Aguas [DGA], 2016). El clima de la macrozona está determinado por los vientos del oeste, el paso de sistemas de latitudes medias, las condiciones oceánicas, y la relativamente baja elevación de la cordillera de los Andes'.

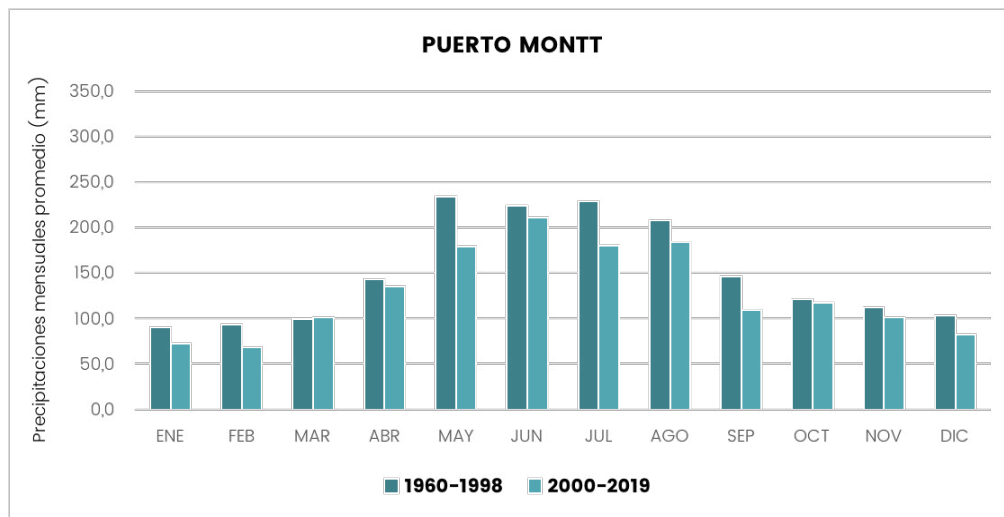
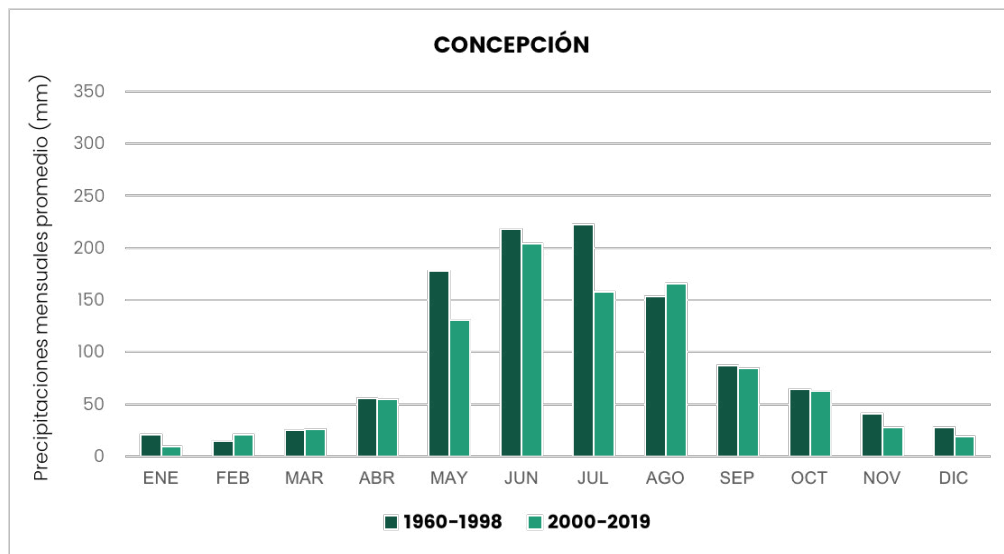
En lo que respecta a las precipitaciones, estas se ven altamente influenciadas por la variabilidad decadal de la Oscilación del Sur, con tendencias por sobre lo normal durante episodios de El Niño, y lo opuesto para el caso de La Niña (Quintana & Aceituno, 2012). El funcionamiento de la Oscilación del Sur a escala decadal está asociada a su vez con la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO por sus siglas en inglés), que es una oscilación del sistema océano-atmósfera del océano Pacífico. Cambios en la intensidad del Anticiclón Subtropical del Pacífico Sureste y en la circulación atmosférica en esta región del Océano Pacífico aparecen como factores clave para explicar las anomalías en precipitaciones (Quintana & Aceituno, 2012). Cabe destacar que ha prevalecido una tendencia negativa en la precipitación anual a lo largo de la costa subtropical oeste de Sudamérica durante el siglo XX (Quintana & Aceituno, 2012).

Las variables hidrológicas principales de las ciudades capitales de cada una de las regiones de la macrozona sur son analizadas a lo largo de esta sección y en términos generales, se observa una fuerte estacionalidad en relación a las temperaturas y precipitaciones. Como muestran las siguientes figuras, se aprecia un incremento de precipitaciones y disminución de temperaturas en los meses de invierno, particularmente en junio y julio, y un descenso de precipitaciones y aumento de temperatura en los meses de verano.



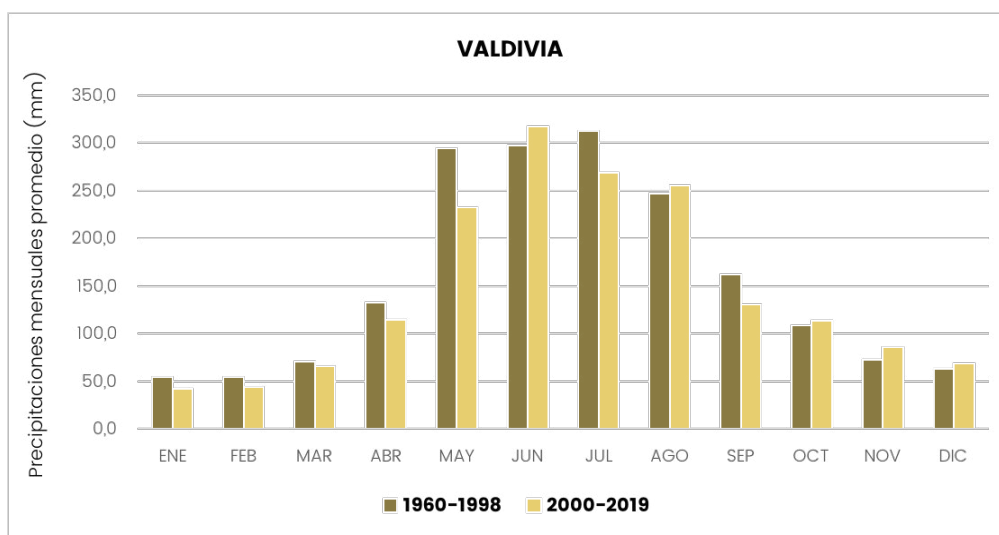
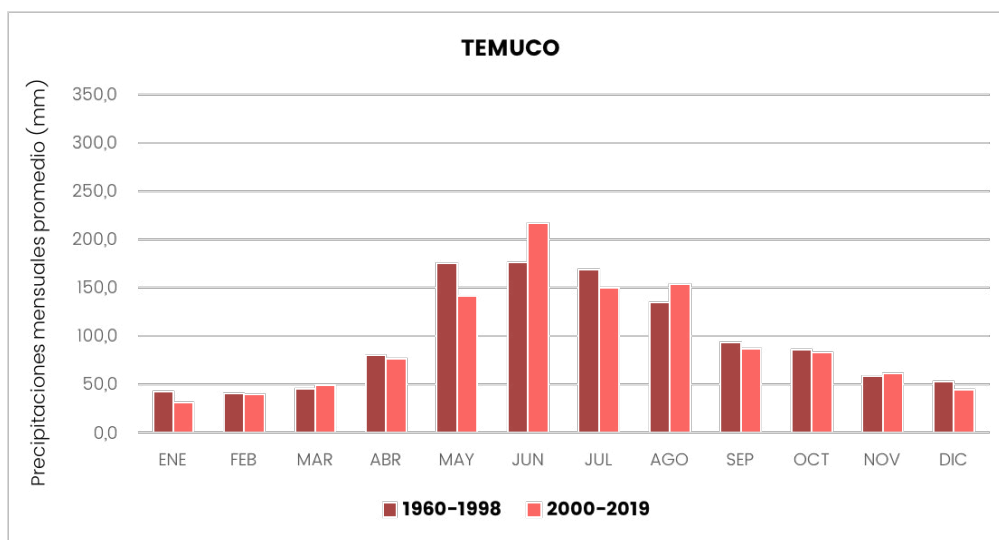
Gráficas de elaboración propia en base a información de la Dirección Meteorológica de Chile (DMC)

Además, se evidencian variaciones de los promedios mensuales de las lluvias en el periodo 2000–2019 con respecto a las mismas variables registradas en el periodo 1960–1998. En las ciudades de Puerto Montt y Concepción, las precipitaciones mensuales promedio de los últimos 20 años son, en todos los meses, menores a aquellas registradas entre 1960 y 1998, con excepción del mes de agosto, en el que Concepción ha visto un aumento de las precipitaciones promedio.



Gráficas de elaboración propia en base a información de la Dirección Meteorológica de Chile (DMC)

Por su parte, las ciudades de Temuco y Valdivia han visto aumentadas, en los últimos años, sus lluvias promedio mensuales en los meses de junio y agosto, en comparación con el valor normal. En Temuco, la situación de los meses relacionados a primavera-verano ha sido similar en ambos periodos, sin embargo, en los meses de diciembre y enero se registra una leve disminución de las precipitaciones. En los meses asociados a primavera, la ciudad de Valdivia ha observado un leve aumento de la precipitación mensual promedio en el periodo 2000-2019 en relación con el periodo anterior, mientras que los meses de enero y febrero han sido más secos.



Gráficas de elaboración propia en base a información de la Dirección Meteorológica de Chile (DMC)

Se proyecta que el cambio climático podría acentuar las fluctuaciones descritas tanto en temperatura como en precipitaciones, generando incertidumbre en el diseño de los sistemas de drenaje urbano y en el comportamiento de los cuerpos hídricos.



Descripción estadística de aguas lluvias

Para el diseño hidráulico de elementos de aguas lluvias tradicionalmente se han utilizado tres medidas importantes que describen las precipitaciones en una zona: Curvas de Intensidad, Duración y Frecuencia, Precipitación base, y Volumen de captura. Hoy en día, debido a la mayor disponibilidad de información y al mayor poder de cálculo computacional, se está optando por **un enfoque de modelación continua, el cual consiste en modelar la precipitación y la respuesta del sistema usando series de tiempo de precipitación de larga duración, usualmente a escala horaria, y así evaluar distintas alternativas de diseño según las consecuencias que cada tormenta genera.**

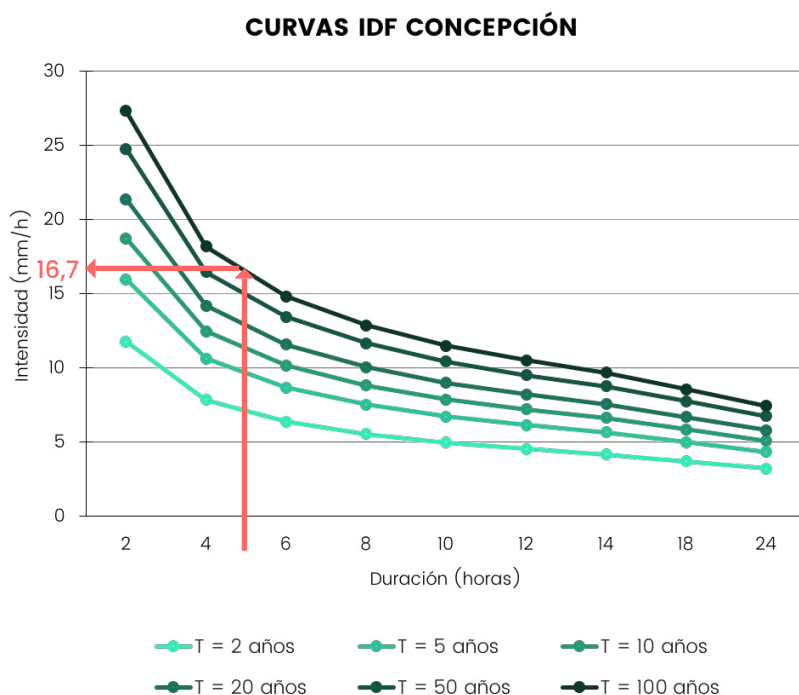
La ventaja de este enfoque es que considera de forma realista la distribución del agua en el tiempo (a diferencia del enfoque tradicional, en el cual se asumen tormentas tipo), y que además permite integrar la componente de aguas subterráneas en el modelo. El Volumen II de esta guía describe con mayor detalle el proceso de modelación continua. En la presente sección, se describen las medidas estadísticas tradicionales para la caracterización de aguas lluvias de la macrozona, junto con los valores determinados para las ciudades analizadas.

1

Curvas de Intensidad - Duración - Frecuencia (IDF)



Las curvas de Intensidad - Duración - Frecuencia (IDF) son una forma gráfica de describir la relación entre la **intensidad, duración y frecuencia** de eventos de precipitación extrema en una zona. Dicho de otra forma, estas curvas **muestran la intensidad media máxima de precipitación esperada en función de una cierta duración de tormenta, para diferentes periodos de retorno.** Tradicionalmente, estas curvas han sido muy prácticas para el diseño de obras hidráulicas, y en este caso lo son también para el **diseño de infraestructura verde** utilizada dentro de los sistemas de drenaje urbano sostenible (ver Volumen II de esta guía).



En este ejemplo de curvas IDF para la ciudad de Concepción, las curvas muestran la intensidad media máxima esperada para tormentas de cierta duración. Cada curva representa una distinta probabilidad de ocurrencia, expresada en función de su periodo de retorno. Como se puede observar, la intensidad media disminuye de forma exponencial conforme la duración del evento aumenta.

De acuerdo a este ejemplo, una precipitación de 100 años de periodo de retorno y 5 horas de duración tendrá una intensidad media de 16,7 mm/h.

¿Dónde se pueden encontrar las Curvas IDF para una ciudad?

Es posible encontrar las curvas IDF en los Planes Maestros de Aguas Lluvias (en el caso de las ciudades que cuentan con ellos) y en el Volumen N°3 del Manual de Carreteras del MOP. También es posible calcularlas directamente a partir del registro histórico de precipitaciones del lugar, lo que permite obtener curvas actualizadas usando los últimos datos disponibles¹.

¿Cómo son las relaciones IDF de la macrozona sur?

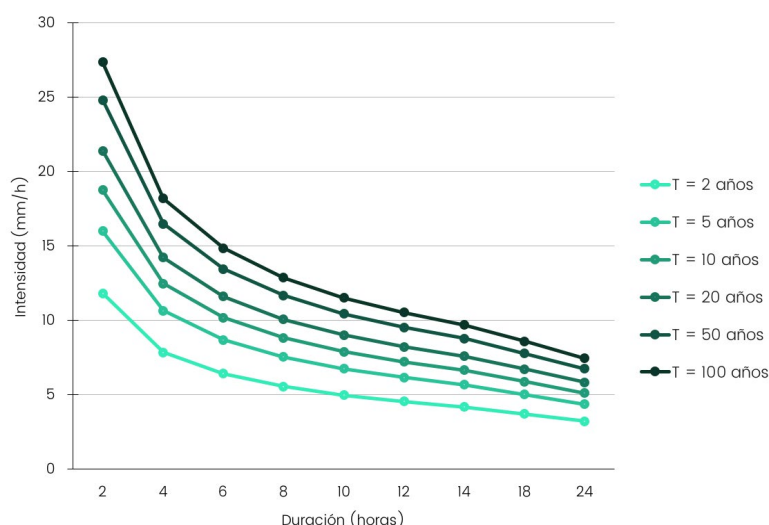
Las relaciones IDF para las ciudades de Concepción, Temuco, Valdivia y Puerto Montt fueron actualizadas para esta guía, utilizando **información de precipitaciones a escala diaria disponible** hasta el año 2019, descargada de la plataforma del explorador climático del Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)².

Para encontrar las curvas se siguió el procedimiento descrito en el Manual de Drenaje Urbano (MOP, 2013), usando los coeficientes de duración que aparecen en dicho manual y estimando los coeficientes de frecuencia. En todos los casos, se ajustó una distribución Log-Normal a la serie de máximos anuales, estudiando la bondad de ajuste con el test Kolmogorov-Smirnov. A través de un test de Mann Kendall, se descartó que existiera una tendencia marcada en las series de precipitación. Se consideraron eventos desde 1 hasta 24 horas de duración.

Estaciones y años de registro consideradas para la elaboración de curvas IDF

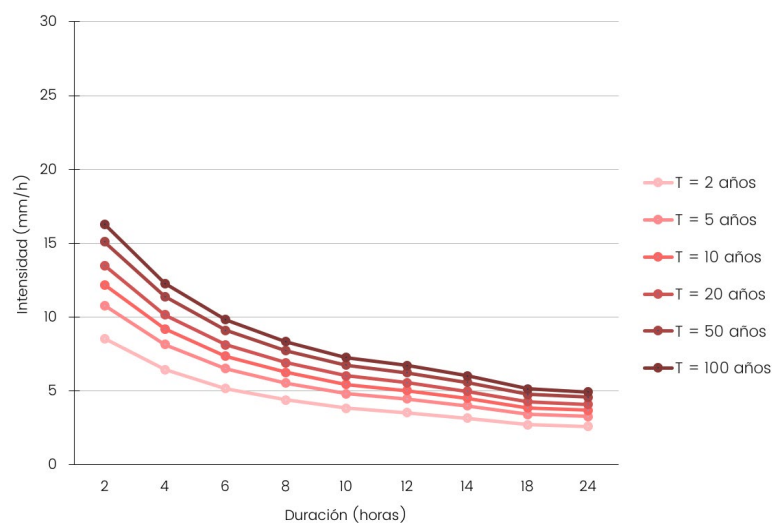
Ciudad	Nombre Estación	Institución	Códigos	Años de registro
Concepción	Carriel Sur	DMC	360019	1950 - 2019
Temuco	Maquehue	DMC	380033	1963 - 2019
Valdivia	Llancahue	DGA	10123004-K	1976 - 2019
Puerto Montt	Puerto Montt	DGA	10425001-7	1977 - 2019

CURVAS IDF CONCEPCIÓN

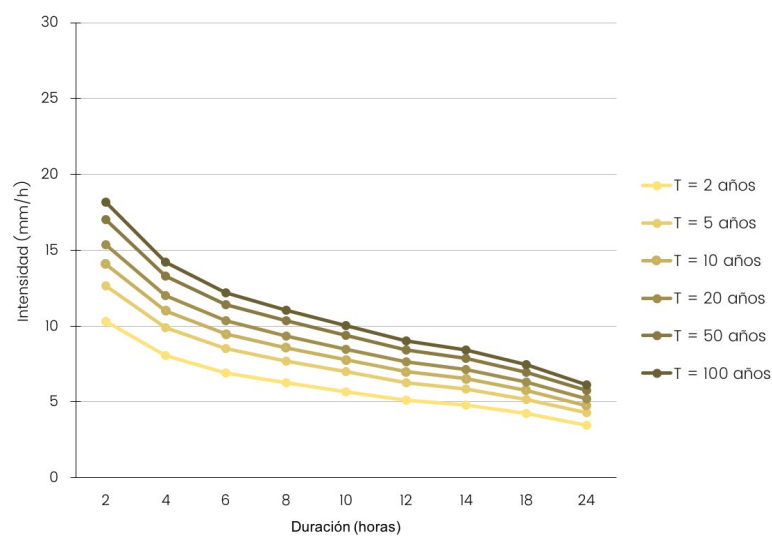


¹Para mayor detalle sobre cómo estimar estas curvas se recomienda revisar el Capítulo 4 del Volumen N°1 del Manual de Drenaje Urbano (Ministerio de Obras Públicas [MOP], 2013).

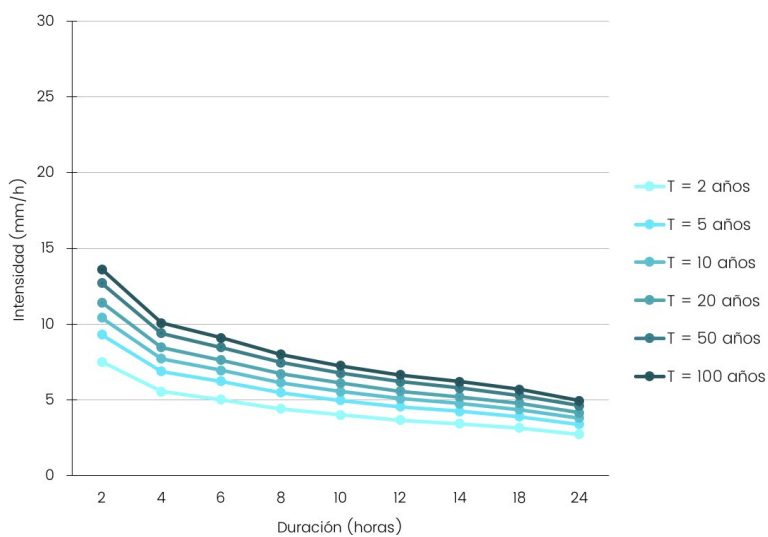
CURVAS IDF TEMUCO



CURVAS IDF VALDIVIA



CURVAS IDF PUERTO MONTT



En la siguiente tabla se presentan las **intensidades de precipitación (mm/h)** para **eventos de duración menor a 1 hora y distintos periodos de retorno.**

CIUDAD	PERIODO DE RETORNO (AÑOS)	DURACIÓN (MINUTOS)						
		5	10	20	30	40	50	60
Concepción (Estación DMC Carriel Sur)	2	59,3	44,4	30,9	24,5	20,7	18,0	15,2
	5	76,4	57,2	39,9	31,6	26,7	23,3	20,6
	10	89,4	66,9	46,6	37,0	31,2	27,2	24,1
	20	102,3	76,6	53,4	42,4	35,7	31,1	27,5
	50	119,5	89,4	62,4	49,5	41,7	36,4	31,9
	100	132,4	99,1	69,1	54,8	46,2	40,3	35,2
Temuco (Estación DMC Maquehue)	2	36,4	27,2	19,0	15,1	12,7	11,1	10,4
	5	46,9	35,1	24,5	19,4	16,4	14,3	13,1
	10	54,9	41,1	28,6	22,7	19,1	16,7	14,8
	20	62,9	47,0	32,8	26,0	21,9	19,1	16,4
	50	73,4	54,9	38,3	30,4	25,6	22,3	18,4
	100	81,3	60,9	42,5	33,7	28,4	24,8	19,8
Valdivia (Estación DGA Llancahue)	2	49,3	36,9	25,7	20,4	17,2	15,0	14,7
	5	63,5	47,5	33,1	26,3	22,2	19,3	18,0
	10	74,3	55,6	38,8	30,8	25,9	22,6	20,1
	20	85,1	63,7	44,4	35,2	29,7	25,9	21,9
	50	99,3	74,3	51,8	41,1	34,6	30,2	24,2
	100	110,1	82,4	57,5	45,6	38,4	33,5	25,9
Puerto Montt (Estación DGA Puerto Montt)	2	35,6	26,6	18,6	14,7	12,4	10,8	10,4
	5	45,9	34,3	23,9	19,0	16,0	14,0	12,9
	10	53,6	40,1	28,0	22,2	18,7	16,3	14,5
	20	61,4	46,0	32,1	25,4	21,4	18,7	15,9
	50	71,7	53,7	37,4	29,7	25,0	21,8	17,7
	100	79,5	59,5	41,5	32,9	27,7	24,2	18,9

A continuación se muestran los **resultados para eventos mayores a 1 hora** y los coeficientes de frecuencia estimados.

CIUDAD	PERIODO DE RETORNO (AÑOS)	COEFICIENTE DE FRECUENCIA	DURACIÓN (HORAS)									
			1	2	4	6	8	10	12	14	18	24
Concepción (Estación DMC Carriel Sur)	2	0,629	15,2	11,8	7,8	6,4	5,6	5,0	4,5	4,2	3,7	3,2
	5	0,853	20,6	16,0	10,6	8,7	7,5	6,7	6,1	5,7	5,0	4,4
	10	1,000	24,1	18,7	12,5	10,2	8,8	7,9	7,2	6,6	5,9	5,1
	20	1,140	27,5	21,4	14,2	11,6	10,1	9,0	8,2	7,6	6,7	5,8
	50	1,322	31,9	24,8	16,5	13,4	11,7	10,4	9,5	8,8	7,8	6,7
	100	1,459	35,2	27,3	18,2	14,8	12,9	11,5	10,5	9,7	8,6	7,4
Temuco (Estación DMC Maquehue)	2	0,701	10,4	8,5	6,4	5,1	4,4	3,8	3,5	3,1	2,7	2,6
	5	0,885	13,1	10,8	8,1	6,5	5,5	4,8	4,4	4,0	3,4	3,3
	10	1,000	14,8	12,2	9,2	7,3	6,2	5,4	5,0	4,5	3,8	3,7
	20	1,106	16,4	13,5	10,2	8,1	6,9	6,0	5,5	5,0	4,2	4,1
	50	1,239	18,4	15,1	11,4	9,1	7,7	6,7	6,2	5,6	4,8	4,6
	100	1,336	19,8	16,3	12,3	9,8	8,3	7,3	6,7	6,0	5,1	4,9
Valdivia (Estación DGA Llancahue)	2	0,732	14,7	10,3	8,0	6,9	6,3	5,7	5,1	4,8	4,2	3,5
	5	0,898	18,0	12,6	9,9	8,5	7,7	7,0	6,3	5,9	5,2	4,3
	10	1,000	20,1	14,1	11,0	9,5	8,6	7,8	7,0	6,5	5,8	4,7
	20	1,093	21,9	15,4	12,0	10,3	9,4	8,5	7,6	7,1	6,3	5,2
	50	1,207	24,2	17,0	13,3	11,4	10,3	9,4	8,4	7,9	7,0	5,7
	100	1,290	25,9	18,2	14,2	12,2	11,0	10,0	9,0	8,4	7,4	6,1
Puerto Montt (Estación DGA Puerto Montt)	2	0,720	10,4	7,5	5,5	5,0	4,4	4,0	3,7	3,4	3,1	2,7
	5	0,893	12,9	9,3	6,9	6,2	5,5	4,9	4,5	4,2	3,9	3,4
	10	1,000	14,5	10,4	7,7	6,9	6,1	5,5	5,1	4,7	4,3	3,8
	20	1,098	15,9	11,4	8,4	7,6	6,7	6,1	5,6	5,2	4,8	4,1
	50	1,219	17,7	12,7	9,4	8,5	7,4	6,8	6,2	5,8	5,3	4,6
	100	1,307	18,9	13,6	10,1	9,1	8,0	7,2	6,6	6,2	5,7	4,9

Un resultado interesante de este análisis es que, al actualizar la base de datos de precipitaciones hasta el año 2019, en todas las ciudades menos en Concepción, el valor de precipitación máxima diaria de 10 años de periodo de retorno (P_{24}^{10}) aumenta con respecto al valor reportado en los Planes Maestros respectivos.

Ciudad	P_{24}^{10} (mm)	
	Según nueva estimación para periodo actualizado hasta 2019	Según Plan Maestro Respectivo (todos publicados en Diario Oficial en 2003)
Concepción	111,4	116,4
Temuco	80,2	77,8
Valdivia	103,6	97,1
Puerto Montt	82,3	73,7

2

Volumen de Captura y Precipitación Base



El Volumen de Captura (VC) corresponde a la cantidad de escorrentía que se genera en la red domiciliar y secundaria, que debe ser manejada antes de su descarga aguas abajo, con el objetivo de limitar el número de eventos que generan problemas, controlando especialmente las lluvias frecuentes.

Este concepto, conocido en inglés por las siglas WQCV (Water Quality Control Volume) o WQV (Water Quality Volume), nace como un criterio de diseño de prácticas sustentables para el manejo de las aguas lluvias, orientado a controlar la escorrentía en origen a través de almacenamiento, infiltración y/o retención temporal; disminuyendo así los efectos negativos de la impermeabilización de los suelos en los sistemas de drenaje (incremento de velocidad y caudales, contaminación de cuerpos receptores, entre otros).

Se espera que tanto en los predios privados e institucionales (viviendas, comercio, estacionamientos y otros), como en espacios públicos (calles, veredas, parques, etc.), se incorporen soluciones que sean capaces de controlar, como mínimo, el volumen de agua que se genera en ellos cuando una precipitación de cierta magnitud ocurre (volumen de captura). **Esta precipitación se conoce como precipitación base.**

Los análisis para estimar la precipitación base difieren en documentos disponibles en línea, sin embargo, su valor siempre dependerá de las características hidrológicas de la zona. En términos generales, la precipitación base corresponderá a la magnitud del evento de precipitación representativo de cierto percentil de tormentas en un área (entre 70 y 90), y que no suele estar relacionada con la precipitación anual total de una zona.

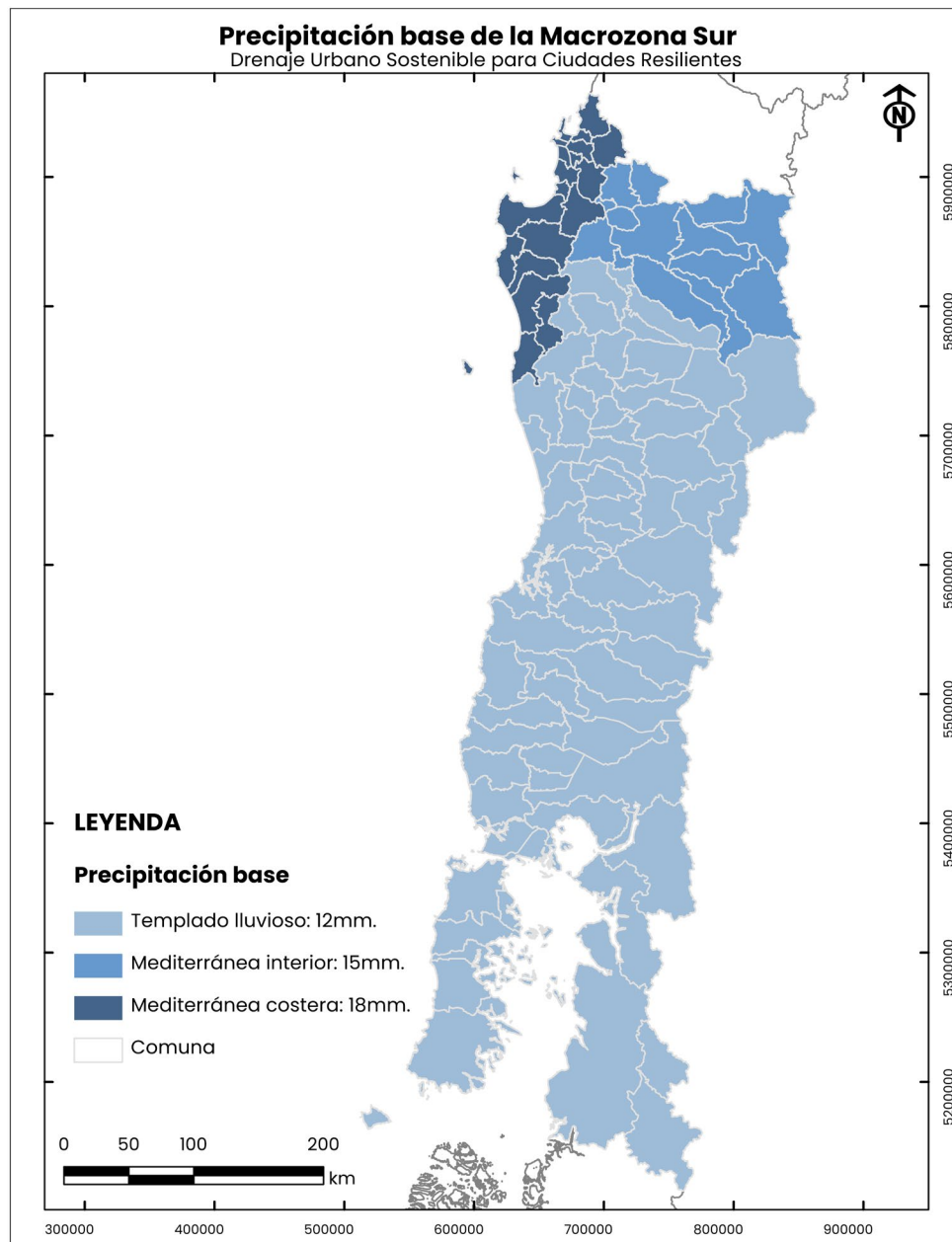
Es decir, no necesariamente una zona con mayor precipitación anual presentará también mayor precipitación base. Esto debido a que existen otros conceptos involucrados en su estimación, como la duración de las tormentas, el tiempo de separación entre ellas y el promedio de lluvia de los eventos (MOP, 2013).

Por ejemplo:

	Precipitación anual promedio (mm)	Precipitación base recomendada (mm)
Valdivia	2.984	12
Concepción	1.521	18

Se ha determinado que las tormentas más frecuentes son las que dan cuenta del mayor número de eventos que generan escorrentía sobre una cuenca urbana, aún cuando tiendan a ser pequeñas. Por tanto, son estas las que generan parte significativa de la carga anual de contaminantes que ingresan a los cuerpos de agua a través de las aguas lluvias y las que generan el volumen de captura que se desea controlar a fin de evitar o retardar escurrimiento.

El Manual de Drenaje Urbano (MOP, 2013) presenta la precipitación base para distintas macrozonas del país. Para la macrozona sur de interés, se distinguen:



Macrozona Mediterránea Costera

Incluye ciudades como Talcahuano, Concepción, Coronel, Lota y Cañete.

Precipitación base: 18 mm.

Macrozona Mediterránea Interior

Incluye ciudades como Alto Biobío, Cabrero, Laja y Tucapel.

Precipitación base: 15 mm.

Macrozona Templada Lluviosa

Incluye por completo las regiones de La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos.

Precipitación base: 12 mm.

Por lo tanto, un buen sistema de drenaje urbano sostenible implementado en la macrozona sur debiera, como mínimo, controlar en origen lluvias de igual o menor magnitud que 12, 15 o 18 mm, dependiendo de la localización de la ciudad.

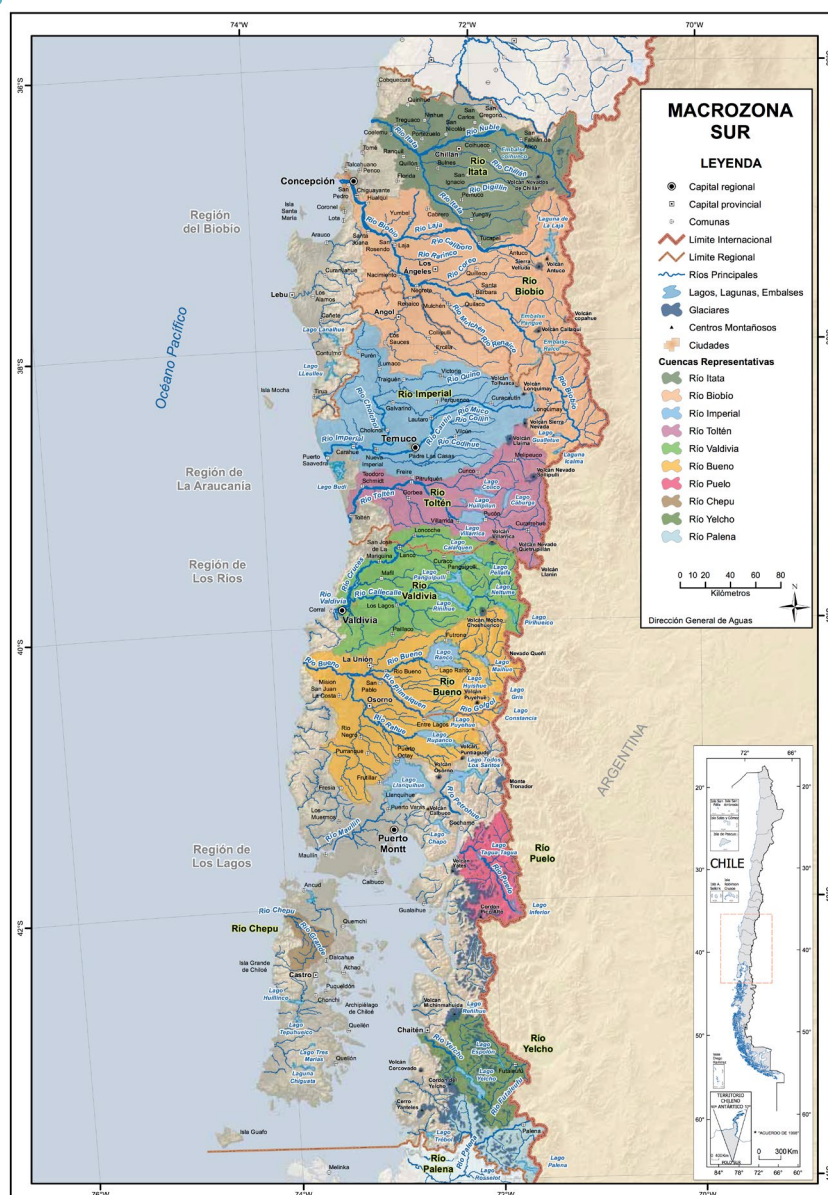
Para estimar el volumen de captura que debe ser controlado en un predio o zona de interés, es necesario no solo conocer la precipitación base (P_{base}) que lo genera, sino también cuantificar el área impermeable (A_{imp}) que efectivamente generará escorrentía dentro de ella².

Finalmente, el volumen de captura queda expresado por la siguiente fórmula:

$$VC (m^3) = 0,001 * P_{base} (mm) * A_{imp} (m^2)$$



Descripción hidrográfica



Fuente: Atlas del Agua - Chile 2016, Dirección General de Aguas

² Para estimar el área impermeable se recomienda utilizar la metodología presentada en la sección 4.3.15.a (Volumen de Captura) del capítulo 4 (Estudios Básicos) del Manual de Drenaje Urbano.

De acuerdo al Inventario de Cuencas Hidrográficas desarrollado por la Dirección General de Aguas, **en la macrozona sur del país existen 26 cuencas hidrográficas**. Una de ellas es la cuenca del Biobío, la segunda más grande del país con 24.369 km². Esta comienza en la Región de la Araucanía y termina en la Región del Biobío, lo que demuestra que los cursos naturales que sigue el agua en la macrozona no entienden de divisiones administrativas. La escorrentía de la macrozona es abundante, alcanzando los 7.834 m³/s (26,8% del total nacional) y el área de espejo de agua alcanza los 3.611 km² (DGA, 2016).

Comprender la forma en que naturalmente circula el agua en las ciudades de la macrozona sur es clave para dar sentido a la red de drenaje urbano. Sin embargo, la tarea de identificar la red de drenaje natural no es simple, ya que los patrones de urbanización predominantes han modificado las rutas hídricas naturales, lo que lleva incluso a tener que repensar la ruta del agua en el contexto urbano. Para lograr este objetivo, existen indicadores basados en análisis espacial que permiten definir el movimiento natural del agua en las ciudades. Uno de ellos es el **Índice Topográfico de Humedad** (TWH por sus siglas en inglés).

Índice Topográfico de Humedad (ITH)

El Índice Topográfico de Humedad indica el nivel de concentración de la humedad o acumulación del agua en un punto de interés. A mayor humedad (índice), mayor es la probabilidad de saturación de los suelos.

Conocer cómo se comporta el ITH a lo largo y ancho de las ciudades entrega una idea preliminar sobre la forma en que se genera y mueve la escorrentía, permitiendo además evaluar la congruencia entre la planificación de las ciudades y los espacios potencialmente más húmedos (Roa Lobo & Kamp, 2012).

Para estimar el ITH a lo largo del territorio, se requiere de Modelos Digitales de Elevación (MDE) con resoluciones mínimas, que dependen de la escala del área de estudio. Estos modelos pueden ser obtenidos desde fuentes de datos libres como la NASA. Utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG) para trabajar estos MDE, se pueden obtener mapas de direcciones de flujo para identificar zonas de acumulación de agua y con ello, la superficie de contribución o tamaño de cuenca aportante aguas arriba. La información anterior, en conjunto con los archivos de topografía de las ciudades, permite calcular el Índice Topográfico de Humedad según la siguiente expresión:

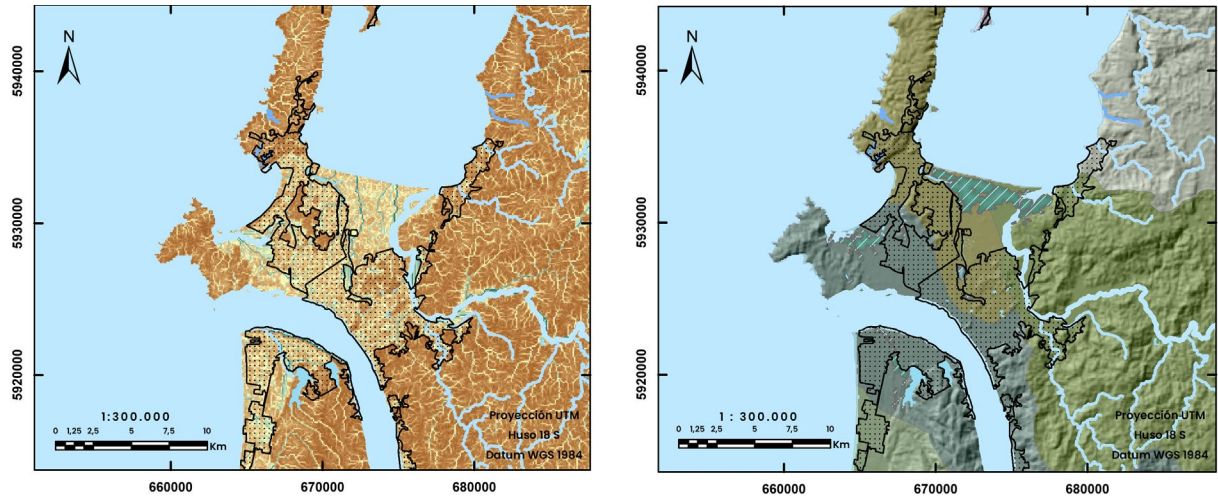
$$ITH = \ln ([CA]/[TP])$$

Donde CA corresponde a la superficie de contribución aguas arriba y TP es la tangente de la pendiente del punto de cálculo dada por la topografía (Zimmerman & Shallenberger, 2016).

Complementario al ITH, **la representación cartográfica de la hidrología en las ciudades ayuda a tener una idea más acertada del flujo de las aguas urbanas**. Para configurar esta cartografía, se identifican los componentes del paisaje con funcionalidad hidrológica para el drenaje, es decir, los cuerpos y cursos de agua, así como también las cuencas y subcuencas urbanas. Esto se logra utilizando datos provenientes de distintas fuentes, entre ellas: Planes Reguladores Comunes (PRC), Banco del Congreso Nacional de Chile (BCN), Red CEDEUS, Infraestructura de Datos Geoespaciales de Chile (IDE) y otras a las que los proyectos respectivos tengan acceso. La información del IDE es pública (y descargable en su sitio web), siendo especialmente útiles para esta materia el Catastro Nacional de Parques Urbanos y el Catastro de Aguas Continentales, entre otros.

Las siguientes cartografías muestran los resultados del cálculo del Índice Topográfico de Humedad y la identificación de la estructura hidrológica de las ciudades capitales de la macrozona sur. Para su elaboración, se utilizaron capas vectoriales provenientes de las distintas fuentes de información mencionadas anteriormente, además de datos levantados por Fundación Legado Chile y por el Laboratorio de Geografía de la Universidad de la Frontera. Asimismo, se utilizaron capas raster de los modelos de elevación digital ALOS PALSAR (Alaska Satellite Facility, ASF) y SRTM (Consortium for Spatial Information, CGIAR-CSI). Todos los insumos fueron procesados en el software ArcGIS. **Los resultados dejan en evidencia que las ciudades se encuentran en territorios dinámicos, en donde existen terrenos altamente susceptibles de inundación; áreas que presentan un elevado ITH.**

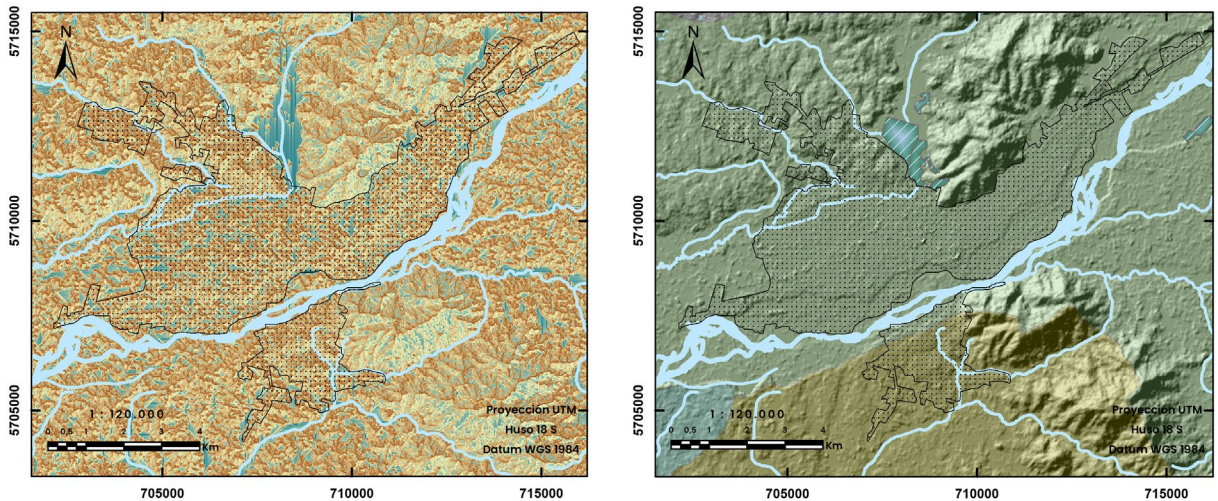
Carta Hidrológica Concepción



Leyenda

- ITH**
- High : 26.4395
- Low : 3.66751
- Área urbanizada
- Río
- Estero
- Quebrada
- Lagos y lagunas
- Humedales
- Microcuenca Río Bio-Bío entre Estero Hualqui y Desembocadura
- Microcuenca Costeras entre Río Andalién y Río Bio-Bío
- Microcuenca Río Andalién
- Microcuenca Costeras entre Río Bio-Bío y Río Manco
- Microcuenca Costeras entre Río Pingueral y Río Andalién
- Microcuenca Isla Quiriquina

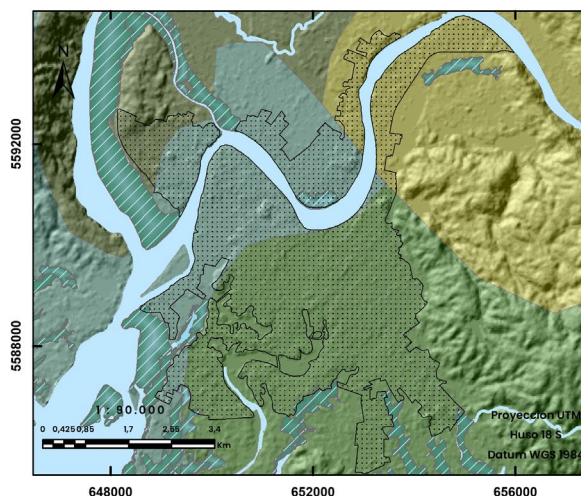
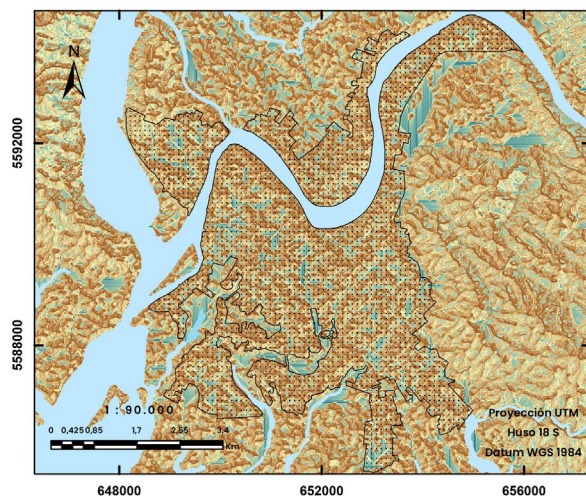
Carta Hidrológica Temuco



Leyenda

- ITH**
- High : 26.7546
- Low : 0.788847
- Área urbanizada
- Río
- Estero
- Humedales
- Lagos y lagunas
- Microcuenca Río Cautín entre Estero Pumalal y Río Quepe
- Microcuenca Río Quepe entre Río Huichahue y Bajo Estero Pelales
- Microcuenca Río Quepe entre Estero Pelales y Río Cautín

Carta Hidrológica Valdivia



Leyenda

ITH

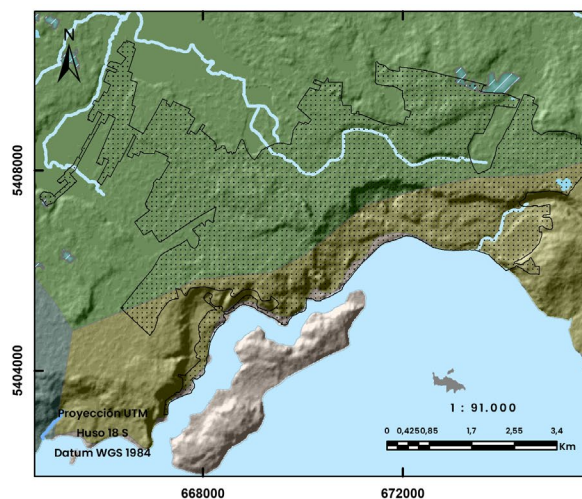
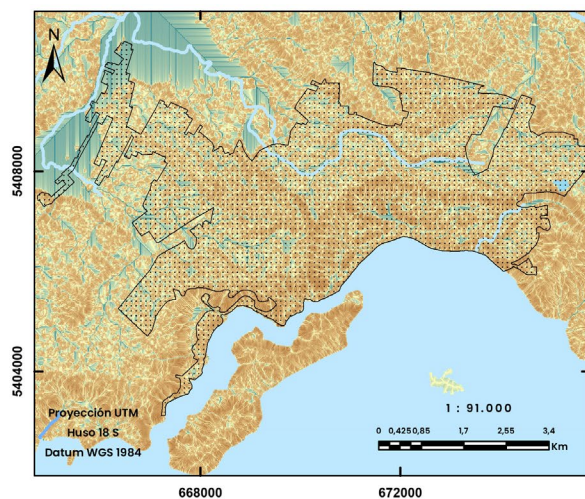
High : 21,0625
Low : 0,788847

Área urbanizada

Río
Estero
Lagos y lagunas
Humedales

Microcuenca Río Anganchillas
Microcuenca Río Valdivia
Microcuenca Río Calle Calle entre Río Cuicuileufu y Río Cruces
Microcuenca Río Cruces entre Río Inaque y Río Valdivia

Carta Hidrológica Puerto Montt



Leyenda

ITH

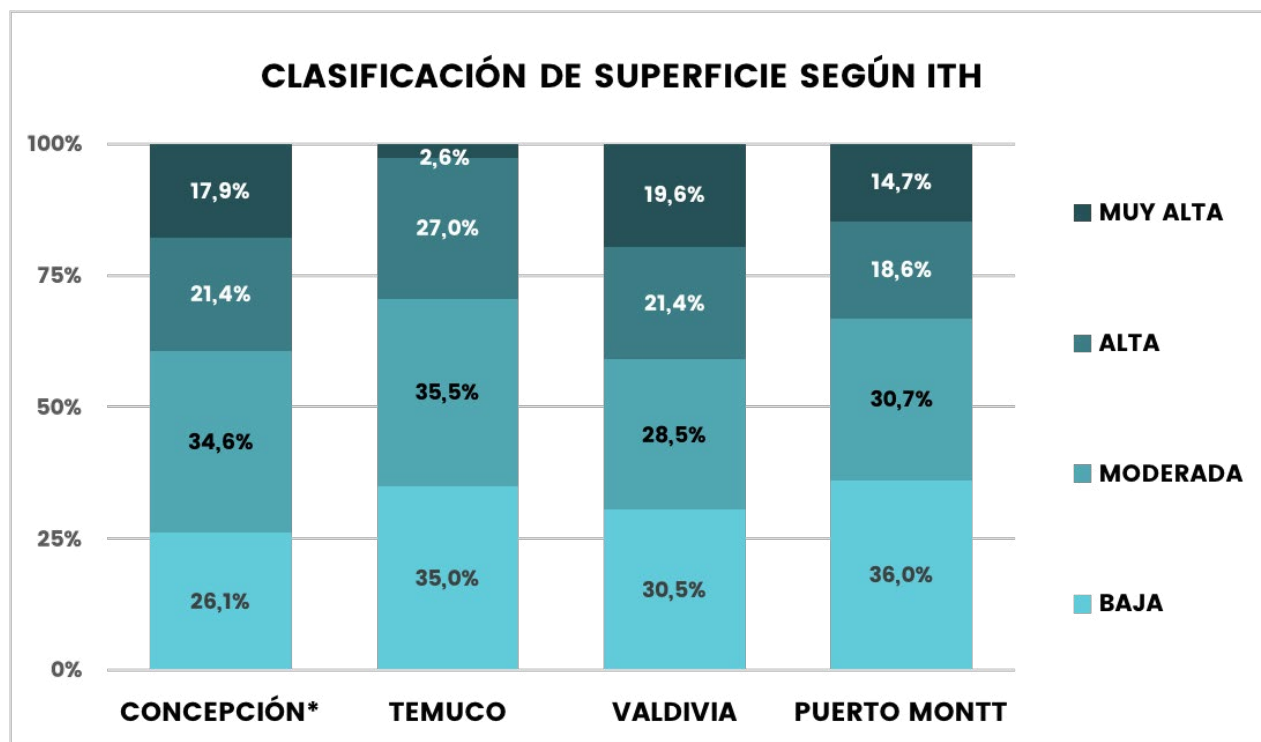
High : 25.642
Low : 1.04794

Área urbanizada

Río
Estero
Quebrada
Lagos y lagunas
Humedales

Microcuenca Río Maulfín entre Desagüe Lago Llanquihue y Río Calabozo
Microcuenca Isla Tenglo y Maillen
Microcuenca Río Gomez
Microcuenca Costeras entre Punta Ilque y Río Chamiza

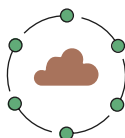
A partir de los resultados de la cartografía se pueden identificar zonas de baja, moderada, alta o muy alta concentración de humedad, entendiendo que, mientras mayor la clasificación, mayores serán los problemas de inundación esperables en ese lugar. La siguiente figura presenta la distribución de las clasificaciones del Índice Topográfico de Humedad en las principales ciudades estudiadas. Como se observa, en **todas las ciudades al menos un 40% de la superficie urbana se encuentra construida sobre terrenos de ITH alto o muy alto**. Valdivia en particular presenta la mayor superficie del tipo muy alta (19,6%), mientras que Temuco la menor (2,6%).



Gráficas de elaboración propia en base a información de la Dirección Meteorológica de Chile (DMC)
 *El cálculo para Concepción incluye además las comunas de Talcahuano, San Pedro de la Paz, Penco y Chiguayante.

2

Cambio climático, amenazas y riesgos



Chile es un país altamente vulnerable al cambio climático, y las amenazas climáticas y riesgos asociados difieren lo largo de su territorio. En este capítulo, se presenta información sobre las proyecciones climáticas de precipitaciones y temperatura para la macrozona sur del país, así como se identifican las principales amenazas climáticas relacionadas con precipitaciones y riesgos asociados al drenaje urbano.

Proyecciones



El cambio climático es uno de los mayores desafíos que enfrenta la humanidad y Chile es un país altamente vulnerable a sus efectos. Según la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) el país cumple con 7 de 9 criterios de vulnerabilidad, entre los que se encuentran la propensión a los desastres naturales, zonas urbanas con contaminación atmosférica y la presencia de ecosistemas frágiles.

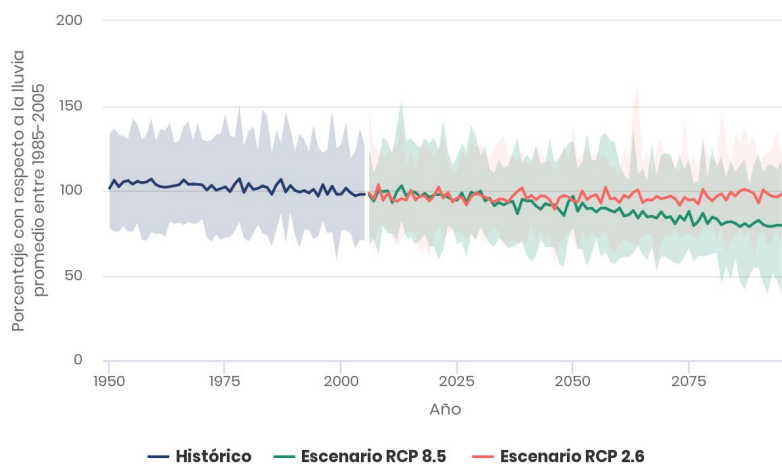
Nuestro país tiene múltiples climas y por ende el **cambio climático no afectará a todo Chile por igual**. En la macrozona sur, las proyecciones climáticas indican que existirá un aumento en las temperaturas y una disminución en las precipitaciones anuales.

Sin embargo, **estas proyecciones deben ser analizadas con precaución** pues, en primer lugar, los desastres asociados a las **lluvias extremas dicen relación con eventos puntuales de grandes intensidades y/o larga duración** y no se correlacionan necesariamente con la precipitación acumulada de un año. En segundo lugar, porque **las ciudades se han expandido y densificado siguiendo un patrón de impermeabilización de suelos** que aumenta las probabilidades de ocurrencia de desastres por precipitaciones extremas.

Científicos han hecho **proyecciones de variables climáticas basadas en distintos escenarios de concentraciones de gases de efecto invernadero en el mundo hasta el año 2100, denominados Representative Concentration Pathways (RCP)**. Estos escenarios, junto a modelos de circulación general de la atmósfera (CGM), permiten estimar cuáles serán los cambios en el clima a lo largo del país.

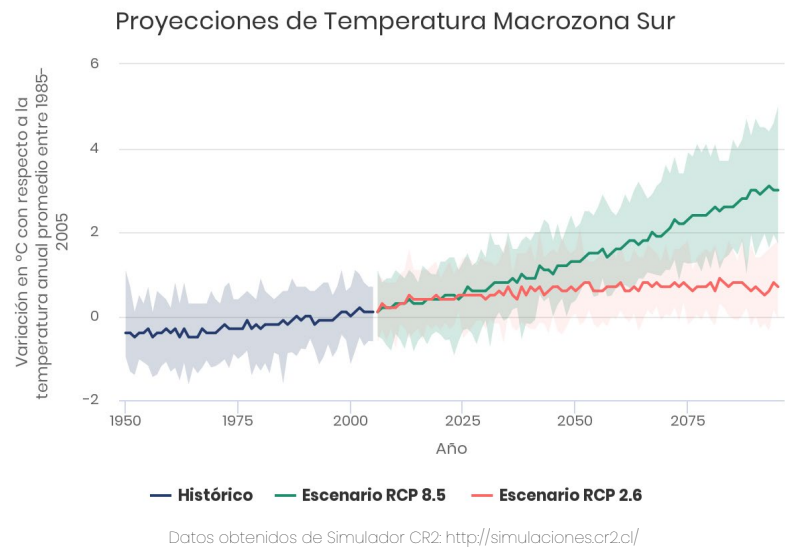
En las siguientes figuras se muestran **las proyecciones de temperatura y precipitaciones anuales para la macrozona sur de Chile, según los escenarios RCP 8.5 y RCP 2.6**. Estos escenarios suponen que el forzamiento radiativo (diferencia entre la radiación que entra y la que sale de la tierra) será de 8,5 y 2,6 W/m² respectivamente el año 2100. El escenario RCP 2.6 es uno de mitigación estricto, y asume que se toman hoy todas las medidas para mantener el calentamiento global bajo un aumento de 2°C sobre las temperaturas preindustriales; mientras que el escenario RCP 8.5 asume que las emisiones continúan en ascenso como lo han hecho hasta ahora, sin tomar ninguna medida.

Proyecciones de Precipitaciones Macrozona Sur



Datos obtenidos de Simulador CR2: <http://simulaciones.cr2.cl/>

- En azul: precipitación modelada histórica
- En rojo: precipitación como promedio de 61 modelos de circulación general de la atmósfera (CGM) según escenario RCP 8.5
- En verde: precipitación como promedio de los modelos según escenario RCP 2.6.
- Áreas achuradas: rango de precipitaciones proyectadas incluyendo los resultados de todos los modelos.



- En azul: temperatura modelada histórica.
- En rojo: temperatura como promedio de 61 modelos de circulación general de la atmósfera (CGM) según escenario RCP 8.5.
- En verde: temperatura como promedio de los modelos según escenario RCP 2.6.
- Áreas achuradas: rango de temperaturas proyectadas incluyendo los resultados de todos los modelos.

Para conocer la proyección de las principales variables climáticas al 2050 por comuna, se recomienda revisar la Plataforma Digital de Cambio Climático de Chile³, de la Oficina de Cambio Climático del Ministerio del Medio Ambiente (MMA).

La siguiente tabla muestra las proyecciones de la plataforma para las capitales regionales de la macrozona sur.

Proyección de la variación climática para las capitales regionales de la macrozona sur.

CIUDAD	Precipitación Anual (mm)			Temperatura Media Estival (°C)			Temperatura Media Invernal (°C)		
	Histórica (1980-2010)	Escenario 2050*	Variación (%)	Histórica (1980-2010)	Escenario 2050*	Variación (°C)	Histórica (1980-2010)	Escenario 2050*	Variación (°C)
Concepción	1.521	1.290	-15,19	16,8	19,0	2,2	6,3	7,7	1,4
Valdivia	1.673	1.436	-14,17	16,2	17,8	1,6	8,2	9,4	1,2
Temuco	2.984	2.595	-13,04	11,0	13,1	2,1	3,5	4,7	1,2
Puerto Montt	1.890	1.666	-11,85	13,9	15,4	1,5	6,9	8	1,1

*Escenario 2050 elaborado como promedio ponderado de la respuesta de 17 modelos CGM al escenario de emisiones RCP 8.5.

Amenazas

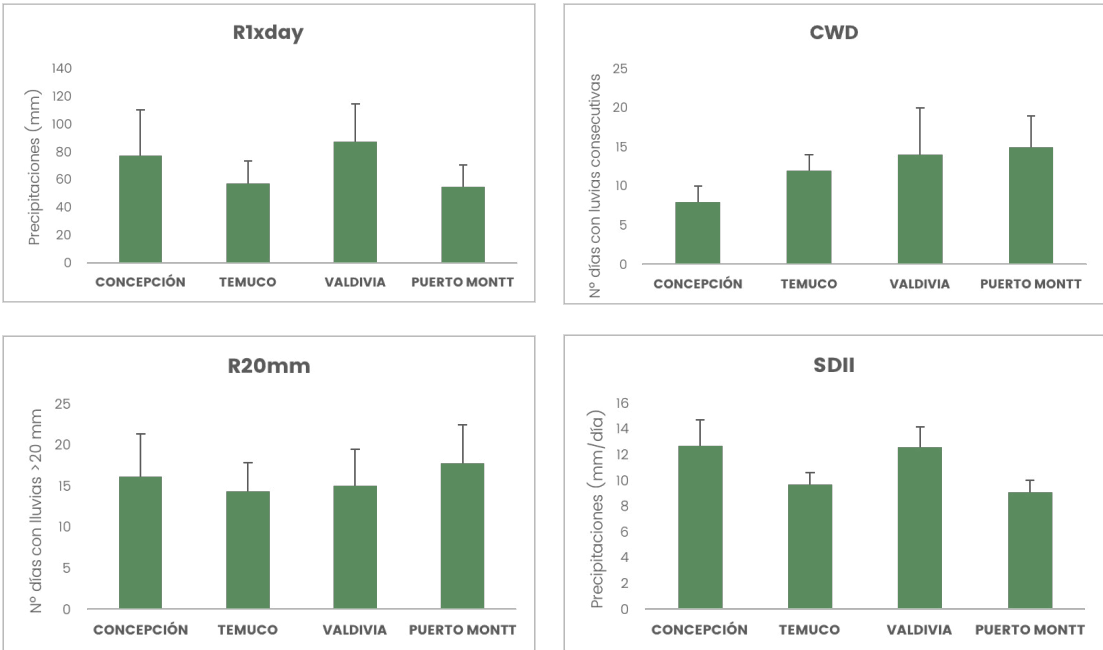
Una forma de analizar las amenazas climáticas es mediante los índices de cambio climático (ICC). Los ICC están asociados a eventos extremos de cambio climático, siendo un conjunto de indicadores estandarizados, basados en percentiles, umbrales y duración, que permiten comparar los cambios que se producen a escala global. Actualmente, existen más de 25 indicadores de cambio climático estimados por la Dirección Meteorológica de Chile⁴ para las capitales regionales.

Dada la importancia de las precipitaciones en el sistema de drenaje urbano, se analizó el comportamiento de cuatro índices de cambio climático asociados a precipitaciones extremas en Concepción, Temuco, Valdivia y Puerto Montt, entre 1981 y 2018.

Los indicadores de interés se definen en la siguiente tabla:

ÍNDICE	SIGLA	DEFINICIÓN	RELACIÓN CON PELIGRO CLIMÁTICO
Precipitación máxima diaria	Rx1day	Índice que corresponde al valor máximo anual de precipitación en un día.	Mientras mayor es el Rx1day de las ciudades a lo largo del tiempo, mayor es el peligro climático.
Días húmedos consecutivos	CWD	Índice que corresponde al valor máximo de días consecutivos de un año con lluvia.	Lluvias más largas tienden a generar mayores volúmenes de escorrentía. Por lo tanto, mientras mayor sea el CWD de las ciudades, mayor peligro climático.
Días con precipitación sobre los 20 mm	R20mm	Índice que corresponde al número de días en el año con precipitación sobre 20 milímetros.	Precipitaciones por sobre los 20 mm son consideradas como extremas, por lo que su aumento en el tiempo o en periodos estacionales (p. ej. invierno), conlleva un mayor peligro de inundaciones.
Índice simple de intensidad de precipitación	SDII	Índice que corresponde a la suma anual de precipitación en días que precipita sobre 1 milímetro, dividido por el número de días con precipitación	Lluvias más intensas, incrementan el peligro de inundaciones si el sistema de drenaje no es el adecuado. Estas pueden acentuarse en periodos de invierno.

Los resultados del análisis de los ICCs asociados a precipitaciones extremas son presentados en las siguientes gráficas:

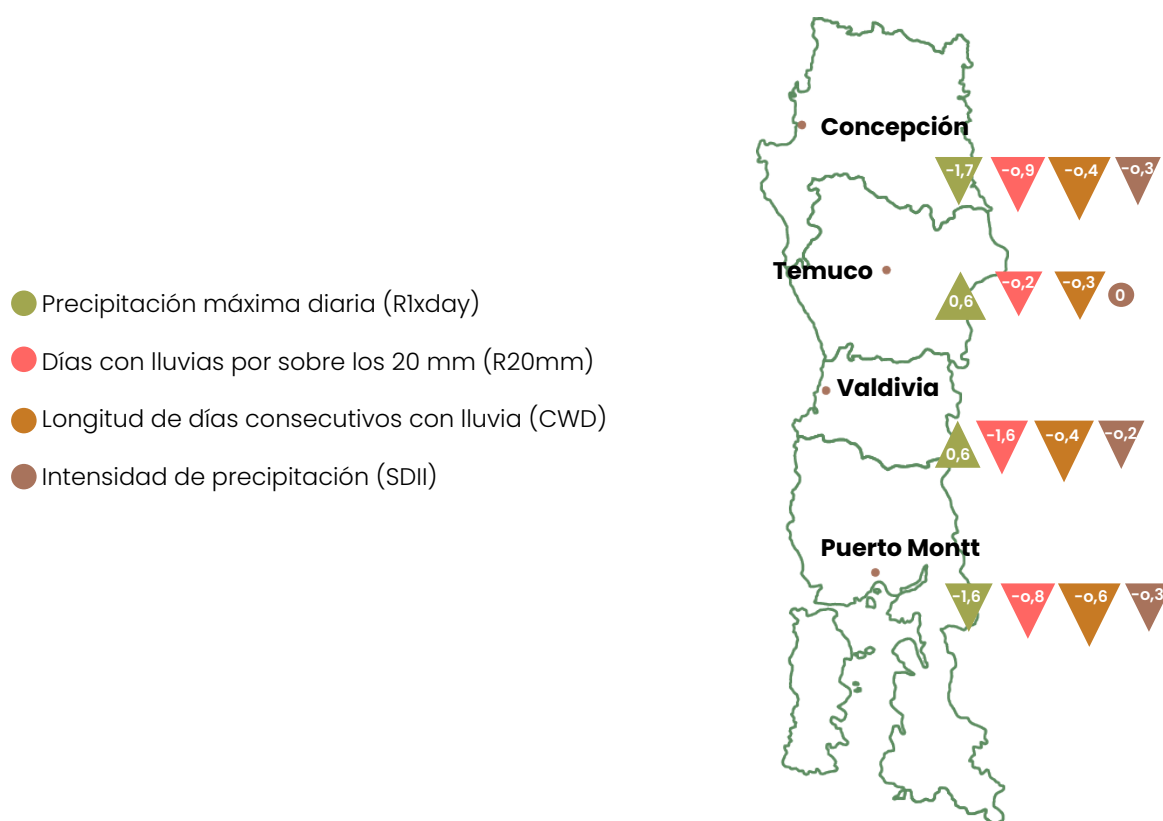


Las barras representan los valores promedio para cada ciudad, obtenido del periodo entre 1981-2018. Las líneas verticales indican la desviación estándar de los datos anuales (Datos extraídos de la Dirección Meteorológica de Chile).

⁴ Índices de Cambio Climático, Dirección Meteorológica de Chile. <https://climatologia.meteochile.gob.cl/application/historicos/mapaindicesClimaticos/>

- La **precipitación máxima en un día (Rx1day)** fue superior en Valdivia con 87,6 mm/día, seguido de Concepción (77,4 mm/día), Temuco (57,5 mm/día) y Puerto Montt (54,7 mm/día).
- Para el caso de la **longitud de días consecutivos con lluvia (CWD)**, se registran valores máximos en Puerto Montt (14 días) y mínimos para Concepción (8 días).
- En términos de **intensidad de lluvia (SDII)**, Concepción y Valdivia presentaron valores prácticamente iguales (12,7 mm/día y 12,6 mm/día, respectivamente); con valores mínimos reportados en Puerto Montt (9,1 mm/día).
- En relación a los **días con precipitación sobre los 20 mm (R20mm)**, el mayor valor registrado corresponde a Puerto Montt, con un valor promedio aproximado de 18 días; seguido por Concepción (16 días), Valdivia (15 días) y Temuco (14 días).

Las tendencias decadales observadas para cada uno de los ICCs en las ciudades de interés se muestran en los mapas a continuación:



Datos extraídos de la Dirección Meteorológica de Chile.

Se aprecia una disminución decadal de los días con precipitación máxima diaria en Concepción (-1,7 mm/década) y Puerto Montt (-1,6 mm/década); tendencia opuesta a lo observado en Temuco (0,6 mm/década) y Valdivia (0,6 mm/década). A modo de comparación, la ciudad de Santiago ha presentado una disminución de este ICC con una tasa de cambio decadal de -0,2 mm/década.

A su vez, las cuatro ciudades analizadas presentaron una disminución en la longitud máxima de días húmedos consecutivos (CWD), siendo Puerto Montt la ciudad que presenta una mayor magnitud en dicho cambio (-0,6 días/década). En Santiago también se reporta una disminución en este ICC (-0,2 días/década).

Además, en todas las ciudades se reporta una disminución de los días con lluvias por sobre los 20 mm, siendo superior en Puerto Montt (-1,8 días/década). Una tendencia similar es reportada en el SDII en casi todas las ciudades, con excepción de Temuco, que no ha presentado variabilidad en estos términos.

Riesgos

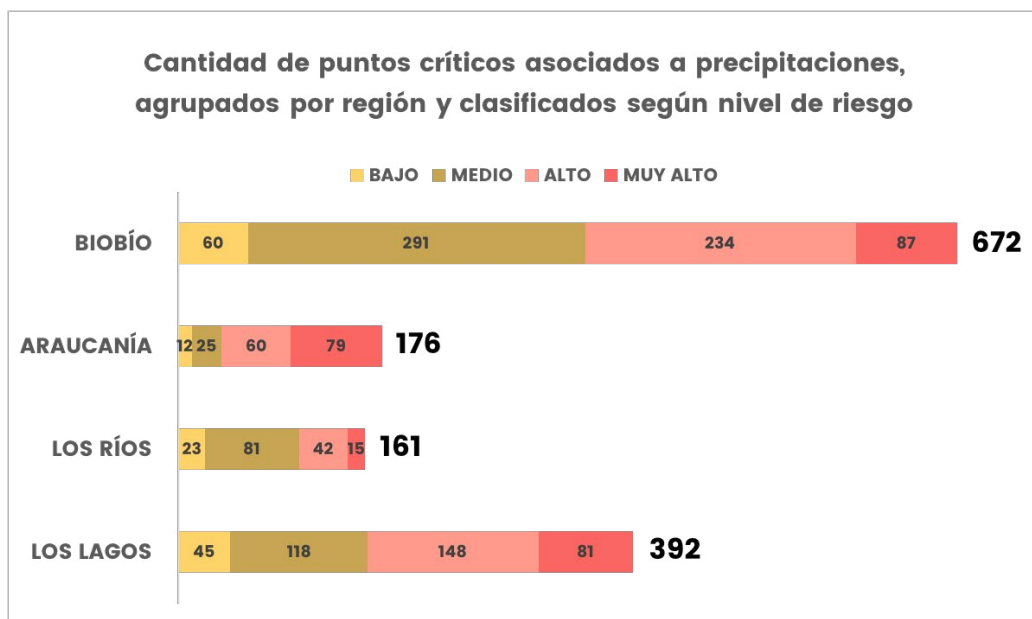


En la macrozona sur, la precipitación intensa trae como consecuencia varios impactos, la mayoría relacionados con inundaciones y remociones en masa. La ONEMI, en su Programa Invierno 2020 reconoce 1.401 puntos críticos asociados a precipitación entre las regiones de Biobío y Los Lagos, cuyo impacto se muestra en el siguiente gráfico.



Elaboración propia con datos obtenidos de la Oficina Nacional de Emergencia (ONEMI)

Cuando los impactos afectan a infraestructura crítica o personas, ya sea por la exposición a estos peligros o por su vulnerabilidad (susceptibilidad de sufrir daños), se habla de riesgo. La ONEMI clasificó estos puntos críticos según su nivel de riesgo en cuatro niveles, desde “bajo” a “muy alto”. El siguiente gráfico muestra los puntos críticos clasificados según su nivel de riesgo y agrupados por región.



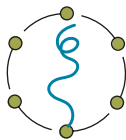
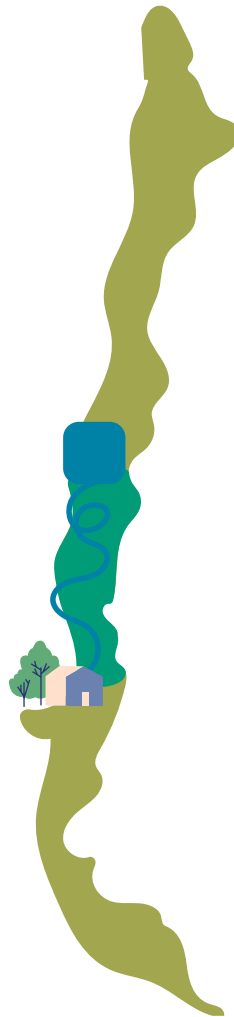
Elaboración propia con datos obtenidos de la Oficina Nacional de Emergencia (ONEMI)

La región del Biobío concentra casi la mitad de los puntos críticos (672), seguida de Los Lagos (392) y más atrás La Araucanía (176) y Los Ríos (161). La diferencia entre las regiones puede estar dada tanto por la extensión del territorio, la cantidad de personas e infraestructura expuesta, y la recurrencia de la amenaza.

Al mirar la distribución del nivel de riesgo de los puntos críticos por región, se puede ver que La Araucanía tiene una mayor proporción de puntos críticos clasificados con riesgo “muy alto”, con un 45%, versus un 21% en Los Lagos, un 13% en Biobío y un 9% en Los Ríos. En este caso, la diferencia puede estar dada por la mayor exposición de las personas y la infraestructura, su mayor nivel de vulnerabilidad y/o la mayor recurrencia de la amenaza.

3

Infraestructura verde identificada en la macrozona sur



El enfoque que propone el uso de infraestructura verde (IV) como soporte de una red de drenaje urbano sostenible (DUS) requiere la identificación de aquellos componentes verdes y azules del paisaje. A partir de ellos, se planifica y diseña un sistema multifuncional de drenaje en términos hidrológicos y de otros servicios ecosistémicos clave (recreación, hábitat para vida silvestre y reducción de riesgo climático).

¿Qué elementos de infraestructura verde se reconocen en la macrozona sur?

La infraestructura verde urbana abarca una amplia diversidad de elementos, desde jardines privados hasta espacios naturales como humedales y ríos. Existen diversas formas de clasificar estos elementos, pero para efectos de esta guía se consideran las siguientes categorías:



La siguiente tabla presenta una síntesis de los principales tipos de elementos de IV con potencial para el drenaje urbano sostenible identificados para la macrozona, incluyendo ejemplos de su expresión en las cuatro ciudades en estudio. Luego, se presenta una descripción general de cada uno de ellos.

Es importante tener presente que cada elemento ha sido observado en el territorio en distintos tamaños, formas y tipos, y es precisamente esa diversidad la que permite que las posibilidades de adaptación y optimización sean múltiples. Cabe destacar también que, **dependiendo de las características específicas de cada ciudad o territorio, podrían identificarse otros elementos relevantes de IV, por lo que este listado no pretende ser taxativo ni excluyente.** Se recomienda revisar el Volumen II de esta guía para saber cómo identificar elementos de infraestructura verde y cómo optimizar las condiciones de diseño de estos espacios con el fin de potenciar su multifuncionalidad.

Clasificación	Elemento de infraestructura verde	Concepción	Temuco	Valdivia	Puerto Montt
Espacios edificados	Techos y jardines de espacios edificados	Universidad de Concepción	Universidad de la Frontera	Jardín Botánico Universidad Austral	Universidad San Sebastián
Grandes espacios urbanos	Estacionamientos	Estacionamiento Intendencia del Bío Bío	Estacionamiento Portal Temuco	Estacionamiento Salfa Sur	Estacionamiento Instituto Alemán
	Plazas de barrio	Plaza Juan Bosco	Plaza Teodoro Schmidt	Plaza Central de la Teniente Merino	Plaza Padre José Fernández
	Parques urbanos	Parque Bicentenario	Parque Isla Cautín	Parque Saval	Parque Natural Luis Ebel
Elementos viales	Calles urbanas	Calle Tucapel	Calle Lautaro	Calle Errázuriz	Calle Urmeneta
	Avenidas Parques	Avenida Manuel Rodríguez	Parque lineal Balmaceda	Avenida Ramón Picarte	Avenida Austral
	Rotonda	Rotonda Lomas de Bellavista	Rotonda Campus Norte Universidad Católica de Temuco	Intersección Intendente Luis Damanann Asenjo con Av. Pedro Montt	Intersección Parque Industrial con Av. Salvador Allende
	Líneas de ferrocarril	Línea paralela a calle Av. Padre Alberto Hurtado	Línea paralela a calle Av. Barros Arana	Línea paralela a calle Ecuador	Línea paralela a calle Volcán Corcovado
Elementos naturales	Humedales y lagunas	Humedal Los Batros y Laguna Grande San Pedro	Vegas de Chivilcan	Humedal Angachilla y Laguna Miraflores	Humedal Llantén y Laguna Mansa Valle Volcanes
	Esteros y arroyos	Estero Penco	Estero Colico	Estero Angachillas	Estero Lobos
	Ríos	Río Biobío	Río Cautín	Río Valdivia	Río Negro
	Quebradas	Quebrada Honda	Quebrada Aquelarre	Quebrada de Huachocopihue	Quebrada Ejército
	Bordes de lago	No posee	No posee	No posee	No posee

1

Espacios edificados**TECHOS Y JARDINES**

Los espacios edificados, privados y públicos, son áreas con alto potencial para el manejo de las aguas lluvias. Las viviendas, universidades, colegios, centros comerciales, hospitales y otros recintos, caben en esta categoría. Dentro de ellos, los jardines y techos son áreas de especial interés. En la macrozona, los jardines interiores son espacios cubiertos de vegetación (comúnmente pasto, aunque también es posible ver árboles y arbustos) y material impermeable (hormigón, cerámicas, asfalto u otros).

El porcentaje de superficie permeable de jardines interiores tiende a disminuir en centros urbanos de mayor densidad y en barrios de carácter comercial, y rara vez están diseñados para optimizar su función como espacios de drenaje en las ciudades.



Jardín de Vivienda, Puerto Varas, Región de Los Lagos

En cuanto a los techos, son componentes impermeables de distintas pendientes, generalmente contruidos de materiales como zinc, madera, arcilla y/o hormigón. En términos del drenaje urbano, los techos **se encuentran típicamente desconectados de las áreas verdes que pudieran infiltrar y/o almacenar las aguas lluvias que caen sobre ellos.**



Techo de vivienda, Puerto Varas, Región de Los Lagos

2

Grandes espacios urbanos



ESTACIONAMIENTOS

Áreas públicas y privadas destinadas al estacionamiento de vehículos de distinto tipo. Es común observarlas en zonas adyacentes a centros comerciales, recintos hospitalarios, escuelas y universidades, recintos turísticos y edificios institucionales. Este elemento se refiere, particularmente, a grandes espacios de estacionamientos y no a las áreas localizadas en los bordes de calzada.

Generalmente son construidos en su totalidad con asfalto u hormigón. En ocasiones puede observarse el uso de pavimentos permeables que facilitan la infiltración de las aguas lluvias y áreas verdes en la periferia. Sin embargo, estas áreas verdes mantienen un problema de diseño similar a aquél de las calles urbanas, suelen estar en un nivel superior y/o mantener obstáculos que dificultan el ingreso de las aguas lluvias desde las zonas impermeables.



Llanquihue, Región de Los Lagos.

PLAZAS DE BARRIO

Espacios de recreación comunitaria caracterizados por mantener, en mayor o menor medida, áreas verdes con vegetación de distintos tipos e infraestructura de esparcimiento (banacas, mesas, caminos peatonales, juegos infantiles, equipamiento deportivo, entre otros). Su escala es menor que la de parques o bosques urbanos.

Las plazas de barrio de los centros urbanos de la macrozona, particularmente aquellas ubicadas en zonas de alta densidad de urbanización, se caracterizan por mantener grandes extensiones de pasto y árboles ocasionales sobre ellas, espacios que a su vez tienden a construirse sobre el nivel de los terrenos impermeables, en bandejones en altura o separados por soleras. Se caracterizan también por mantener extensiones importantes de áreas impermeables desconectadas de las áreas filtrantes.

Esta característica es menos recurrente en ciudades más pequeñas.



Llanquihue, Región de Los Lagos

PARQUES URBANOS

Espacios urbanos de vasta vegetación (tanto nativa como exótica), que suelen ser utilizados con fines recreativos, culturales y como áreas de protección de la biodiversidad. Comúnmente se observa en ellos infraestructura (senderos, bancas, plataformas u otros). Poseen topografías irregulares y altos porcentajes de permeabilidad. Generalmente se localizan en las periferias de los centros urbanos, aunque en ocasiones pueden ser observados en el centro de la trama urbana.

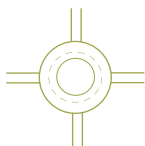


Parque Urbano El Bosque, Valdivia, Región de Los Ríos

Puede ocurrir que no sean reconocidos por el nombre formal de parque o bosque urbano, en caso de que nadie los administre, no estén protegidos y/o no mantengan infraestructura. Sin embargo, **su función hidrológica dentro de la red de drenaje es relevante pues se pueden consolidar como grandes espacios de infiltración y almacenamiento de aguas lluvias.**

3

Elementos viales



CALLES URBANAS

Corresponden a los ejes viales públicos y privados, incluyendo sus calzadas, aceras, ciclovías (comúnmente construidas de materiales impermeables), caminos peatonales y todos aquellos otros elementos presentes hasta la línea oficial de edificación. Refiere especialmente a calles de una y dos vías que, según la clasificación dispuesta en el Manual de Carreteras (MOP, 2016), corresponden a vías de tipo colector, local y/o de desarrollo.



Calle urbana de doble sentido, ciudad de Llanquihue, Región de Los Lagos.

Un problema de diseño que se observa en estos elementos es la **desconexión existente entre las áreas impermeables (calles y aceras construidas de hormigón o asfalto) y las áreas permeables, como los jardines ubicados en las aceras**. Esta desconexión impide la infiltración de las aguas lluvias que escurren sobre las calles y se produce porque ambos espacios se encuentran en distintos niveles y/o porque se han construido obstáculos que impiden el flujo directo de uno a otro. Esta separación suele ser delimitada por soleras de hormigón. Además, los espacios verdes que se incorporan en los cortes transversales no cumplen con las características necesarias para manejar los escurrimientos. Estos generalmente reciben la escorrentía de los espacios edificados, mas no el agua que se mueve por las calles.



Calle urbana tipo pasaje, ciudad de Llanquihue, Región de Los Lagos.

AVENIDAS PARQUES

Similares a las calles urbanas descritas anteriormente, las avenidas parques se diferencian de los pasajes y calzadas simples de doble vía por mantener un bandejón central con vegetación de distinto tipo y por ser elementos más continuos.

Al igual que el resto de las calles, tanto los bandejones como las aceras laterales suelen estar en una cota más alta de terreno con respecto a la calzada, y estar separados por soleras que imposibilitan que el flujo de agua que escurre por las calles ingrese a los elementos de infiltración.



Ciudad de Llanquihue, Región de Los Lagos.

ROTONDAS

Elementos de intersección de la trama vial de distintos tamaños en que los flujos vehiculares acceden desde distintas ramas y maniobran al interior de un anillo vial que las conecta. Las islas centrales de las rotondas suelen ser circulares y estar cubiertas de algún tipo de vegetación. El Manual de Carreteras (MOP, 2016) indica que esta vegetación nunca debe ser lo suficientemente alta como para generar problemas de visibilidad a los conductores.

Las islas se suelen observar delimitadas por soleras y ubicadas en un nivel superior con respecto a las calzadas de automóviles adyacentes. También, **es común que su suelo mantenga una forma prominente o abultada, en lugar de una depresida que facilite la retención de aguas lluvias.**



Rotonda, Puerto Montt, Región de Los Lagos

REDES DE FERROCARRILES

Elementos de vialidad lineal sobre los que transitan trenes y ferrocarriles y que tienden a cruzar los centros urbanos. En zonas densamente pobladas, es posible observar que las fajas laterales de los rieles han sido urbanizadas con materiales impermeables, sin embargo, en la macrozona sur predomina la vegetación en las áreas adyacentes a los carriles, comúnmente de baja altura.

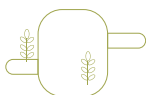
La Ley General de Ferrocarriles (Decreto N°1.157) prohíbe la construcción de edificios, fachadas u obras elevadas de más de 5 metros de alto a menos de 5 metros de distancia de la vía. Asimismo, prohíbe las plantaciones de árboles a menos de 12 metros y la construcción de muros o cierres a menos de 2 metros de distancia del carril. Independientemente de lo anterior, algunos Planes Reguladores Comunales (PRC) han establecido restricciones mayores a los usos permitidos en las fajas de terreno paralelas a las líneas de ferrocarriles. Por ejemplo, el PRC de la comuna de Temuco prohíbe cualquier tipo de edificación en el área comprendida por 10 metros de ancho a cada lado del eje de las vías férreas, aceptando solo la construcción y mantención de áreas verdes.



Llanquihue, Región de Los Lagos.

4

Elementos naturales



HUMEDALES Y LAGUNAS

En la normativa chilena, los humedales urbanos se reconocen como:

“Todas aquellas extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas, sean estas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina, cuya profundidad en marea baja no exceda los seis metros y que se encuentren total o parcialmente dentro del límite urbano”.
(Ley 21.202, 2020, Artículo N°1).

Los humedales son ecosistemas que albergan una gran cantidad de vida y proveen a la población de importantes servicios ecosistémicos, sin embargo, en entornos urbanos suelen ser observados en condiciones de importante presión antrópica. Se reconocen distintos tipos de humedales dependiendo, principalmente, de su vegetación y condiciones de agua. Entre ellos destacan los siguientes (Patagua, 2020):

Fluviales o ribereños:

Aquellos humedales de agua dulce reconocidos por constituirse en ríos, arroyos y cascadas.



Confluencia de los ríos Cruces y Valdivia, Región de Los Ríos

Lacustres:

Humedales de agua dulce reconocidos por constituirse como lagunas y lagos, presentando la mayoría de su vegetación en las zonas de borde y manteniendo un espejo de agua visible a lo largo de todo el año. En la macrozona sur, es común que las lagunas urbanas sean reconocidas como humedales.



Humedal Las Ranas, Llanquihue, Región de Los Lagos

Estuarios:

Humedales salobres que se forman en las desembocaduras de ríos al mar.



Estuario Queilen, Chiloé, Región de Los Lagos.

Turberas:

Humedales de agua dulce que se reconocen por mantener esponjas de musgo y vegetación acumulados por miles de años en ambientes saturados de agua.



Turbera, Chiloé

Hualves:

Bosques húmedos de vegetación nativa que se encuentran anegados de agua y poseen drenaje deficiente. En la macrozona sur, se observan en ellos especies leñosas como el temo (*Blepharocalyx cruckshanksii*), la pitra (*Myrceugenia exsucca*), el chequén (*Luma chequén*), y el tepu (*Tepualia stipularis*).



Mauñín, Región de Los Lagos

Marinos:

Humedales de agua salada con inundación periódica que se ubican en zonas intermareales y en espacios de agua marina somera.

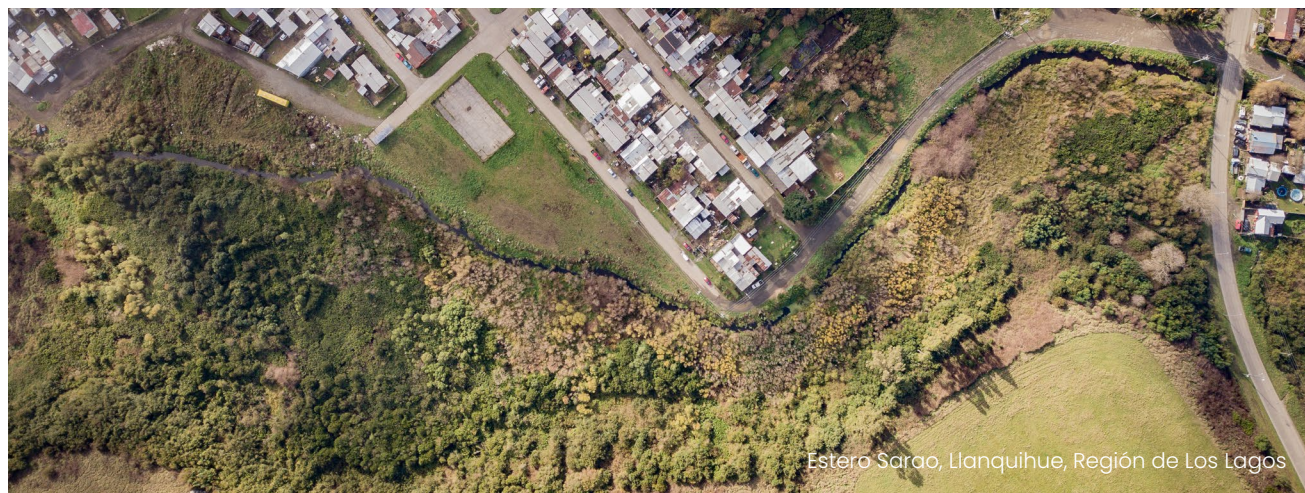


Isla Maillen, Región de Los Lagos

ESTEROS Y ARROYOS

Comúnmente identificados como ríos de menores dimensiones, los esteros y arroyos comprenden los cursos de agua que fluyen sobre cauces y las riberas que los contienen, cubiertas de vegetación. Se identifican por poseer caudales menores que los ríos y desembocar en otros cuerpos de agua como lagos, lagunas, ríos u otros esteros y arroyos. Dependiendo de su tamaño, el caudal podría desaparecer en los periodos secos del año.

Es importante considerar que internacionalmente el término estero refiere a cuerpos pantanosos de agua más que a ríos de menor tamaño, como son entendidos en Chile.



Estero Sarao, Llanquihue, Región de Los Lagos

RÍOS

Área comprendida por los cursos de agua que fluyen sobre cauces y las riberas que los contienen, cubiertas de vegetación. Desde su nacimiento hasta su desembocadura en otros ríos, lagos o el mar, los ríos se alimentan de agua proveniente de precipitaciones directas y escorrentía superficial, aportes subterráneos y/o derretimiento de nieve y hielo.

Los principales ríos de la macrozona sur son: Itata, Ñuble, Laja, Biobío, Cholchol, Imperial, Cautín, Toltén, Cruces, Callecalle, Bueno, Pilmaiquén, Rahue, Puelo, Petrohué, Maullín y Yelcho (DGA, 2016). Sus caudales máximos anuales reportados por la DGA entre 2010–2018 oscilaron entre los 339 m³/s y los 5.384 m³/s⁵, siendo el Río Biobío aquél de mayor caudal máximo en la macrozona. Sin embargo, cada uno de ellos recibe aportes de ríos de menores dimensiones y caudales.



Río Maullín, Llanquihue, Región de Los Lagos

QUEBRADAS

Son “ejes de drenaje en los que el agua fluye de manera encajonada entre montañas o lomas, dando origen a cortes en forma de V” (Patagua, 2018). Comprenden el lecho de escurrimiento esporádico o permanente y las riberas que lo contienen, y se caracterizan por tener altas pendientes. Dependiendo de condiciones particulares, el caudal puede desaparecer en épocas estivales, o transportar grandes caudales en eventos de precipitaciones extremas. Su descarga suele producirse hacia lagos, lagunas, ríos o esteros.

Es común observar en las quebradas microbasurales, asentamientos informales, deforestación, rellenos, descargas de aguas domiciliarias y delincuencia, pues suelen ser espacios poco valorados y altamente degradados de las ciudades. Sin embargo, cumplen múltiples funciones, especialmente dentro de las redes de drenaje de las ciudades, que deben y pueden ser protegidas.

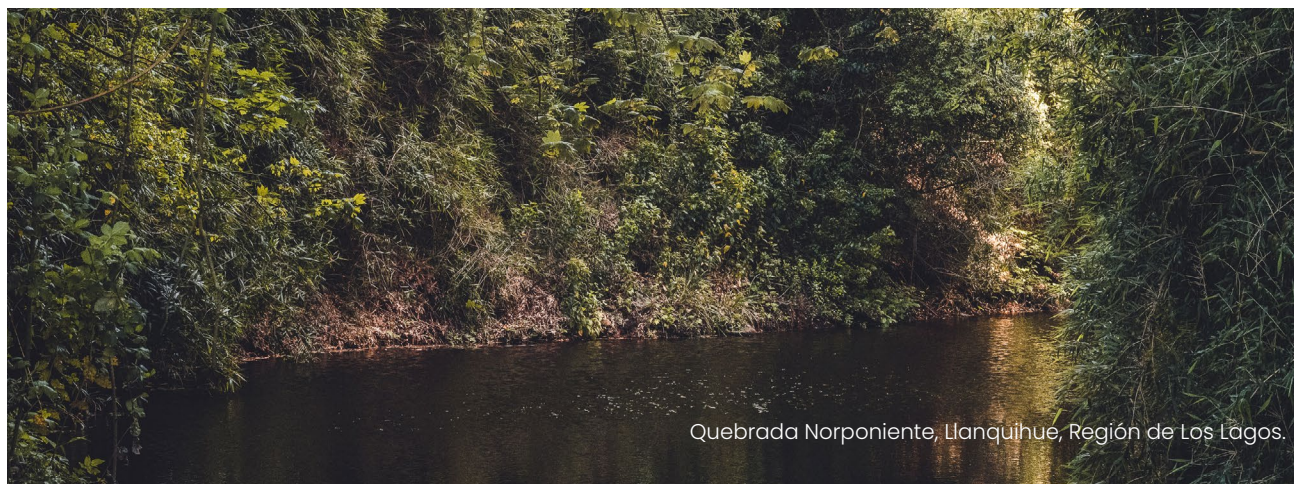


Quebrada Honda, Puerto Varas, Región de Los Lagos

⁵ Se tomaron en consideración todas las estaciones disponibles sobre los ríos principales explicitados. Datos descargados desde plataforma CR2.

En los Planes Reguladores Comunales (PRC), las quebradas son elementos que comúnmente se incluyen dentro de zonas de restricción de edificación por ser consideradas áreas de “riesgo de origen natural”, y/o por poseer protección ecológica. Las condiciones normativas dispuestas en las ordenanzas locales sobre las dimensiones de las fajas de protección de los cauces que las definen, y sobre los posibles usos de suelo en laderas, varían significativamente según la comuna.

En Temuco, por ejemplo, los usos de suelo están supeditados a las pendientes y la existencia de vegetación nativa. En Puerto Montt se permite solo la instalación de obras temporales, mientras que en Concepción no se permite la construcción de ningún tipo de obra en las fajas de protección.



Quebrada Norponiente, Llanquihue, Región de Los Lagos.

BORDES DE LAGO

Bordes urbanos de grandes extensiones de agua dulce con espejo permanente, que se alimentan, generalmente, del agua proveniente de esteros, ríos y/o quebradas que desembocan en ellos; así como también de precipitaciones y, en algunos casos, de filtración de aguas subterráneas.

En el borde costero de algunos de los lagos de la macrozona se localizan varios centros poblados, lo que implica que los mecanismos de gestión de las aguas lluvias que pretendan mejorar el estado ecológico de estos cuerpos receptores, deberán vincular esfuerzos de diversas áreas administrativas. Por ejemplo, el Lago Llanquihue (Región de los Lagos) recibe aguas lluvias de los centros urbanos de Puerto Varas, Llanquihue, Frutillar, Puerto Octay y Ensenada.

Las aguas lluvias ingresan a ellos a través de precipitación directa, pero también por escurrimiento desde las zonas urbanas adyacentes. Es común observar sistemas subterráneos de drenaje de aguas lluvias (sumideros y colectores) que terminan con tubos descargando directamente al cuerpo de agua.



Borde costero del lago Llanquihue, Llanquihue, Región de Los Lagos.

REFERENCIAS:

Dirección General de Aguas. (2016). *Atlas del Agua: Chile 2016*. Santiago, Chile.

Ley 21.202 de 2020. Modifica diversos cuerpos legales con el objetivo de proteger los humedales urbanos. Diario Oficial de la República de Chile. 23 de enero de 2020. Recuperado de <http://bcn.cl/2fff9>

Ministerio de Obras Públicas. (2013). *Manual de Drenaje Urbano: Guía para el diseño, construcción, operación y conservación de obras de drenaje urbano*. Santiago, Chile.

Ministerio de Obras Públicas. (2016). *Manual de Carreteras: Instrucciones y Criterios de Diseño*. Dirección de Vialidad, Santiago, Chile. Recuperado de <https://portal.ondac.com/601/w3-article-59868.html>

Patagua. (2018). *Quebrada Parque: Guía para la Gestión de Quebradas Urbanas*. Puerto Varas, Chile.

Patagua. (2020). *Guía de buenas prácticas para la conservación del entorno natural*. Puerto Varas, Chile.

Quintana, J. M., & Aceituno, P. (2012). Changes in the rainfall regime along the extratropical west coast of South America (Chile): 30–43° S. *Atmósfera*, 25(1), 1–22.

Roa Lobo, J., & Kamp, U. (2012). Uso del índice topográfico de humedad (ITH) para el diagnóstico de la amenaza por desborde fluvial, Trujillo-Venezuela. *Revista geográfica venezolana*, 53(1), 109–126.

Sarricolea, P., Herrera-Ossandon, M., & Meseguer-Ruiz, Ó. (2017). Climatic regionalisation of continental Chile. *Journal of Maps*, 13(2), 66–73. <https://doi.org/10.1080/17445647.2016.1259592>

Zimmerman, J., & Shallenberger, J. (2016). *GIS Topographic Wetness Index (TWI) Exercise Steps*. Susquehanna River Basin Commission.

Los sistemas de drenaje urbano sostenible basados en infraestructura verde son una solución eficiente para gestionar las aguas lluvias, disminuyendo los riesgos de inundación, erosión y contaminación; y contribuyendo simultáneamente al cuidado y recuperación de espacios de naturaleza urbana, tanto para el disfrute de las personas como para la conservación de la biodiversidad.

Esta guía busca acercar el concepto de drenaje urbano sostenible y ofrecer herramientas para orientar su diseño e implementación, resignificando el agua y sus espacios en la ciudad para aportar al desarrollo de entornos urbanos sostenibles y resilientes, con una mirada territorial que considera las características particulares de la macrozona sur de Chile.

