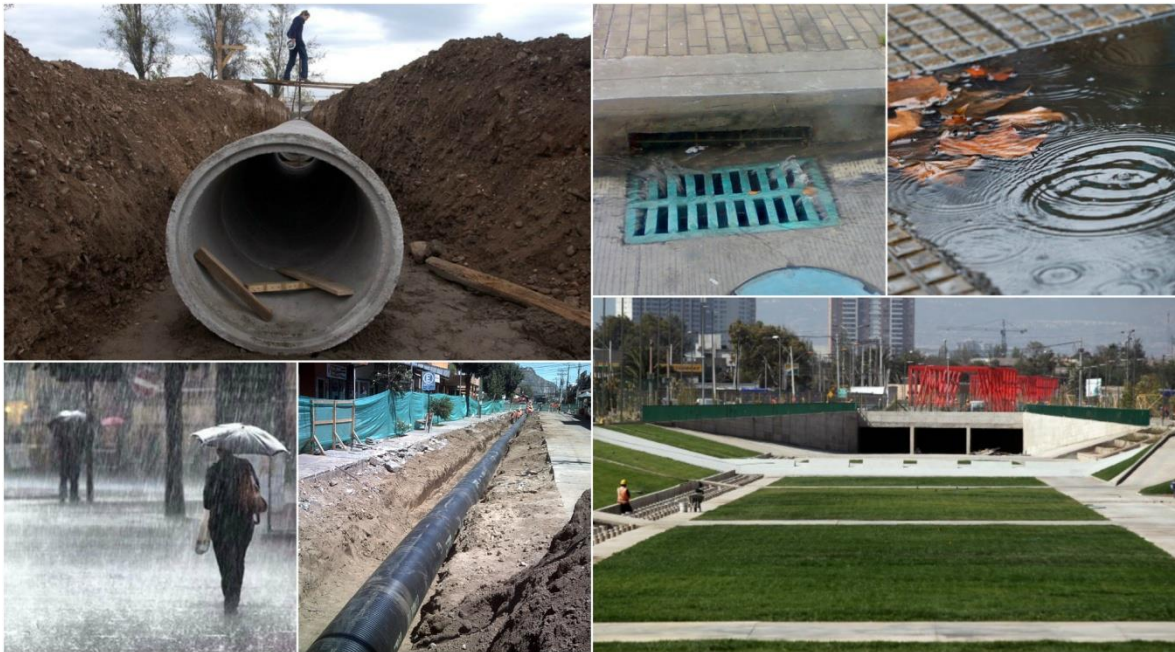


METODOLOGÍA FORMULACIÓN Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS DE EVACUACIÓN Y DRENAJE DE AGUAS LLUVIAS



Ficha Resumen

Nombre Metodología	Formulación y Evaluación de Proyectos Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias		
Sector	Recursos Hídricos		
Subsector	Aguas Lluvias		
Resumen	<p>La metodología está compuesta de tres capítulos. El primero corresponde a los antecedentes generales del sector; el segundo, a la formulación del proyecto que describe aspectos como: el diagnóstico, análisis de oferta y demanda y estudio de alternativas; y el tercero presenta la evaluación del proyecto que consta de la identificación de beneficios y costos; configuración de flujos netos; cálculo de indicadores y criterios de decisión.</p> <p>También incluye dos anexos que corresponden a la distribución de probabilidades y al diseño de la “vivienda tipo”, respectivamente.</p>		
Proyectos a los que aplica	<ul style="list-style-type: none"> • Construcción, Ampliación y Reposición de sistemas de evacuación aguas lluvias. 		
Marco Normativo	<ul style="list-style-type: none"> • Ley 19.525 que regula los sistemas de evacuación y drenajes de aguas lluvias. • Ley General de Urbanismo y Construcciones, D.S. 458 de 1976 • Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, DS 47/1992 • Ley general de Servicios Sanitarios, DFL 382 DE 1998 • Ley 19.300 de bases del Medio Ambiente y su modificación mediante Ley 20.417. 		
Fuentes de los Principales Datos	<ul style="list-style-type: none"> • Manual de Drenaje Urbano DOH –MOP, 2013 • Guía de diseño y especificaciones de elementos urbanos de infraestructura de aguas lluvias- MINVU • Planes Maestros de Aguas Lluvias • Municipios 		
Principales Beneficios	<ul style="list-style-type: none"> • Beneficios por menor daño • Liberación de recursos 		
Método Valorización Beneficios	<ul style="list-style-type: none"> • Daño Evitado • Precios Hedónicos 	Horizonte de Evaluación (años)	30
Enfoque Evaluación	<ul style="list-style-type: none"> • Costo Beneficio / Costo Eficiencia 		
Indicadores	<i>Nombre Indicador</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Valor Actual Neto (VAN) 	
	<i>Criterio de Decisión</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Alternativa de Mayor VAN positivo 	
	<i>Nombre Indicador</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Costo Anual Equivalente (CAE) 	
	<i>Criterio de Decisión</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Alternativa de Menor CAE 	

ÍNDICE

1. Antecedentes Generales del Sector	4
1.1 Marco Regulatorio e Institucionalidad del Sector	4
1.2 Tipos de Infraestructura para Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias	7
1.3 Procesos asociados a Proyectos de Evacuación de Aguas Lluvias	9
1.4 Ciclo de vida de los Proyectos	10
2. Formulación del Proyecto	13
2.1 Identificación del Problema.....	13
2.2 Diagnóstico de la Situación Actual.....	13
2.3 Análisis del sistema actual de evacuación y drenaje de aguas lluvias (Oferta)	15
2.4 Análisis de la demanda actual y proyectada	18
2.5 Optimización de la Situación actual	18
2.6 Balance Oferta-Demanda	19
2.7 Análisis de Alternativas	19
3. Evaluación Social del Proyecto	19
3.1 Identificación de Beneficios	20
3.2 Métodos de valoración de beneficios	22
3.3 Estimación de Beneficios Sociales	25
3.4 Identificación de Costos.....	40
3.5 Cálculo de Indicadores y Criterios de Decisión	41
3.6 Análisis de Riesgo	45
 Anexo 1 Daños Evitados y su Distribución de Probabilidades	 48
Anexo 2 Diseño de “Vivienda Tipo y Estimación de Daños”	57

1. Antecedentes Generales del Sector

Introducción

La presente metodología establece los tópicos a tratar tanto en la formulación como en la evaluación de los proyectos de evacuación y drenaje de aguas lluvias. El objetivo principal es entregar un documento útil para el formulador y evaluador de proyectos de manera que a través de su uso se puedan preparar y evaluar proyectos que hagan un uso eficiente de los recursos disponibles para inversión en el sector.

Esta Metodología es aplicable tanto a los proyectos pertenecientes a un Plan Maestro, que es un instrumento de planificación territorial que entrega antecedentes técnicos para elaborar proyectos de aguas lluvias, como a los proyectos formulados en localidades que no cuentan con este instrumento.

1.1 Marco Regulatorio e Institucionalidad del Sector

Durante el año 1997 se aprobó la Ley N° 19.525 que establece que “El Estado velará porque en las ciudades y en los centros poblados existan sistemas de evacuación y drenaje de aguas lluvias que permitan su fácil escurrimiento y disposición e impidan el daño que ellas puedan causar a las personas, viviendas y, en general, a la infraestructura urbana”.

La referida Ley definió también que será el Ministerio de Obras Públicas (MOP), a través de la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH), el encargado de la planificación, estudio, proyección, construcción, reparación, mantención y mejoramiento de la red primaria de sistemas de evacuación y drenaje de aguas lluvias; por su parte, la red secundaria estará a cargo del Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU), directamente en lo relativo a su planificación y estudio e indirectamente a través de los Servicios de Vivienda y Urbanismo (SERVIU) para la proyección, construcción, reparación y mantención de la misma.

a) Ley que regula los sistemas de evacuación y drenaje de aguas lluvias, ley 19.525

La normativa legal en materia de aguas lluvias se encuentra en la Ley N° 19.525, la cual contiene una serie de normas de carácter general destinadas a buscar soluciones para las inundaciones y para establecer las responsabilidades que competen al Estado y a los particulares en la materia.

El artículo primero define las responsabilidades institucionales sobre la materia, objetivo primordial de la dictación de esta Ley, en los siguientes términos:

Red Primaria : MOP
Red Secundaria : MINVU

Un segundo punto de interés de este artículo es el concepto de “sistema de evacuación y drenaje de aguas lluvias”, ya que permite una amplia gama de soluciones técnicas adicionales a las tradicionales de redes de colectores.

El artículo segundo destaca lo siguiente:

- Encomienda al MOP la realización de Planes Maestros destinados a definir la red primaria de evacuación y drenaje de aguas lluvias, cuya realización se norma en el artículo primero transitorio de esta misma ley.
- Se define la red secundaria por exclusión a la definición de la red primaria, zanjando un punto controversial desde el punto de vista técnico.
- La Red Primaria es considerada en los Planes Maestros como aquella constituida por los cauces naturales (ríos, esteros y quebradas) que atraviesan la ciudad, los canales existentes y proyectados, los colectores separados superiores a cierto diámetro y todos los colectores unitarios. Esta definición de diámetro es arbitraria y afectará la responsabilidad ministerial en relación a las aguas lluvias.
- Se adopta la solución de redes separadas de aguas lluvias respecto de las redes de alcantarillado de aguas servidas, en lugar de las soluciones unitarias, aunque se deja la posibilidad, si hay razones técnicas que lo aconsejen, a redes unitarias o interconectadas.

b) Estructura Institucional

Diversas instituciones del sector público participan directamente en la provisión del servicio de evacuación y drenaje de aguas lluvias sobre la base de lo dispuesto en la Ley N° 19.525, o en forma indirecta, a través de lo estipulado en otras legislaciones que tienen que ver con materia de inversiones en sistemas de evacuación y drenaje de aguas lluvias o en temas relacionados relativos a usos del suelo y control y manejo de cauces naturales, entre otros. Las instituciones que participan se nombran a continuación:

i. ***Ministerio de Obras Públicas (MOP):*** Participan las siguientes direcciones:

Dirección de Obras Hidráulicas (DOH): La Ley N° 19.525 dispuso que la planificación, estudio, proyección, construcción, reparación, mantención y mejoramiento de la red primaria del sistema de evacuación y drenaje de aguas lluvias corresponde al MOP, institución que opera a través de DOH.

Dirección General de Aguas (DGA): El Código de Aguas le entrega, en gran medida, las atribuciones de normar, controlar y fiscalizar los derechos de propiedad, la construcción de obras de regadío, drenaje y el control de cauces y riberas.

Dirección General de Obras Públicas (DGOP): La DGOP, de acuerdo a la Ley Orgánica del MOP, tiene atribuciones en materia de obras fluviales. En efecto, la DGOP se encarga del estudio, proyección, construcción y conservación de las obras de defensa de terrenos y poblaciones, contra crecidas de corrientes de agua, protección de las riberas y cauce de los ríos y esteros, y de la súper vigilancia, reglamentación y determinación de zonas prohibidas para la extracción de materiales áridos cuyo permiso corresponde a las municipalidades, previo informe favorable de la DGOP.

Igualmente le compete indicar los deslindes de los cauces naturales con los particulares ribereños para los efectos dictados por el Ministerio de Bienes Nacionales en el Decreto Supremo correspondiente. Estas funciones provienen de lo que dispone la Ley N° 11.402, de 1954, y fijan lo que es el ámbito de competencia de la DGOP en materias fluviales.

Debe tenerse presente que en virtud de las resoluciones de la DGOP 194 (23 junio de 2000) y 333 (31 octubre de 2000), las referidas facultades de la DGOP se delegaron en autoridades de la DOH.

ii. Ministerio de la Vivienda y Urbanismo (MINVU): Según se señaló, la Ley 19.525 dispuso que el MINVU se encargará de la planificación, estudio, proyección, construcción, reparación, mantención y mejoramiento de la red secundaria del sistema de evacuación y drenaje de aguas lluvias, actuando a través de los SERVIU en las labores de construcción y mantención.

Adicionalmente, el artículo 2.1.5 del DS N° 47, 1992 que fija el texto de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, dispone que en los Planes Reguladores Intercomunales y Comunales se establecerán, cuando proceda y previo estudio de riesgos elaborado por profesionales especialistas, zonas no edificables o de edificación restringida tales como:

- Zonas inundables o potencialmente inundables, debido entre otras causas, a proximidad a lagos, ríos, esteros, quebradas naturales, canales, acequias, vertientes.
- Zonas próximas a pendientes peligrosas, tales como terrenos propensos a avalanchas, rodados, aluviones, aludes o erosiones acentuadas.

Adicionalmente, en los Planes Reguladores Comunales se deben considerar los estudios de factibilidad de servicios, dentro de los que se incluyen el estudio de factibilidad de evacuación y drenaje de aguas lluvias, por lo que el MINVU intervendrá al respecto.

Entre las instituciones que se relacionan indirectamente se encuentran:

iii. Ministerio del Interior: El Gobierno Regional administra los recursos del Fondo Nacional de Desarrollo Regional (FNDR) asignados por el Ministerio del Interior, los que se pueden destinar a proyectos de aguas lluvias, entre otras iniciativas.

iv. Ministerio de Desarrollo Social: Como administrador del Sistema Nacional de Inversiones, tiene las funciones relativas a la evaluación y aprobación técnico-económica de los proyectos de evacuación y drenaje de aguas lluvias que solicitan recursos para su ejecución.

v. Ministerio de Salud: De acuerdo con el Código Sanitario, los Servicios de Salud tienen atribuciones para fiscalizar la descarga de aguas servidas o de residuos que puedan contaminar las aguas que se utilicen o puedan ser reutilizadas para el riego, uso o consumo humano, pudiendo ordenar su inmediata suspensión exigiendo su tratamiento previo.

vi. Ministerio del Medio Ambiente: De acuerdo con la ley 20.417, que reformó la ley 19.300 de Bases Generales del Medio Ambiente, tiene a su cargo el desarrollo y aplicación de variados instrumentos de gestión ambiental, protección de recursos naturales y control de la contaminación. Con respecto a los proyectos de aguas lluvias, están obligados a ingresar a la evaluación de impacto ambiental aquellos que se les considere el literal o) del artículo 10 de la ley 19.300, así como el literal o.2 del artículo 3 del Reglamento de la Ley. Para ello el titular de dicho proyecto debe presentar ante la autoridad una Declaración de Impacto Ambiental (DIA) o un Estudio de Impacto Ambiental (EIA).

vii. Municipalidades: Según la Ley N° 19.130, Ley Orgánica Constitucional de Municipalidades, las funciones de los municipios tienen relación con la protección del medio ambiente, principalmente en la fiscalización del cumplimiento de las normas legales y vigentes sobre la urbanización y las aprobaciones de las subdivisiones de predios rústicos ubicados bajo su jurisdicción. Algunas de sus funciones son:

- Administración de los bienes nacionales de uso público, categoría que tienen los cauces naturales;
- Otorgamiento de los permisos para la extracción de áridos bajo supervisión técnica de la DOH;
- Funciones de limpieza en sumideros y cámaras en épocas de lluvia, a través de cuadrillas de aseo.

1.2 Tipos de Infraestructura para Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias

Para mitigar los efectos negativos causados por las inundaciones, se pueden diseñar y construir sistemas de evacuación para reducir o eliminar el agua en el sector inundado, o bien para evitar o retrasar la llegada de ésta al sector que se inunda.




Para efectos de elegir el sistema adecuado de evacuación y drenaje de aguas lluvias, hay que diferenciar entre sectores urbanos ya consolidados (caso específico del casco urbano consolidado de la mayoría de las ciudades del país) y aquellos sectores nuevos que están en vías de desarrollo. En el caso de los centros urbanos consolidados se opta generalmente por soluciones enterradas, motivadas por condiciones de seguridad, restricciones de espacio, razones de costos, etc., en cambio en sectores nuevos, es posible implementar técnicas alternativas o técnicas de gestión de escurrimiento urbano.



Un sistema de evacuación de aguas lluvias puede contar con obras de:

- Infiltración
- Almacenamiento
- Captación
- Conducción superficial
- Conducción subterránea

De acuerdo al Manual de Drenaje Urbano de la Dirección de Obras Hidráulicas, los tipos de infraestructura relacionados con cada obra son los siguientes:

TIPOS DE INFRAESTRUCTURA QUE COMPONEN UN SISTEMA DE EVACUACIÓN Y DRENAJE DE AGUAS LLUVIAS

<p style="text-align: center;">Infiltración</p>  <p>Objetivo: reducir los volúmenes de escorrentía y caudales máximos con el fin de evitar problemas estructurales.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Desconexión de áreas impermeables • Franjas filtrantes • Jardines para la lluvia • Estanques de Infiltración • Zanjas de Infiltración • Pozos de Infiltración • Pavimentos porosos • Pavimentos celulares • Techos verdes
<p style="text-align: center;">Almacenamiento</p>  <p>Objetivo: captar el flujo superficial y almacenarlo temporalmente para ser descargado aguas abajo.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Elementos de almacenamiento local • Estanques de retención superficial • Lagunas de retención • Obras de almacenamiento subterráneo
<p style="text-align: center;">Captación</p>  <p>Objetivo: alimentar la red de drenaje capturando el agua que escurre por las superficies urbanas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Sumideros • Otras obras

<p style="text-align: center;">Conducción Superficial</p>  <p>Objetivo: contribuir al traslado de las aguas lluvias en la red de drenaje hasta que sean descargadas en los sistemas receptores.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Canaletas y bajadas de aguas lluvias • Pequeñas zanjas con vegetación • Canales para el drenaje urbano • Caídas y disipadores de energía • Cauces naturales
<p style="text-align: center;">Conducción Subterránea</p>  <p>Objetivo: contribuyen al traslado de las aguas lluvias en la red de drenaje especialmente en sectores urbanos en los cuales no hay disponibilidad de espacio en superficie.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Cámaras de inspección • Colectores pequeño diámetro • Grandes colectores

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA EN BASE AL “MANUAL DE DRENAJE URBANO”, DOH 2013.

1.3 Procesos Asociados a Proyectos de Evacuación de Aguas Lluvias

En las instrucciones del SNI se definen diferentes procesos asociados a un proyecto según la actividad principal que se realizará. A continuación se presentan en el siguiente esquema.

a) *Proyectos de Construcción*

Acciones que corresponden a la materialización de un servicio que no existe a la fecha. Consisten en entregar una solución de evacuación de aguas lluvias en sectores que carecen de ella e incluye todos los proyectos que implican la ejecución de obras nuevas.

b) *Proyectos de Ampliación de la Oferta*

Acciones que tienen por objeto aumentar la capacidad de servicio, es decir, incrementar la superficie protegida por el sistema de evacuación y drenaje de aguas lluvias existente, sin modificar sus obras.

c) *Proyectos de Mejoramiento*

El objetivo es aumentar la calidad de un servicio existente que para proyectos de evacuación y drenaje de aguas lluvias corresponde a mejorar el nivel de protección que entrega. Un tipo de proyecto sería un revestimiento de infraestructura de conducción, el cual aumentaría la capacidad del sistema ya construido.

d) *Proyectos de Reposición*

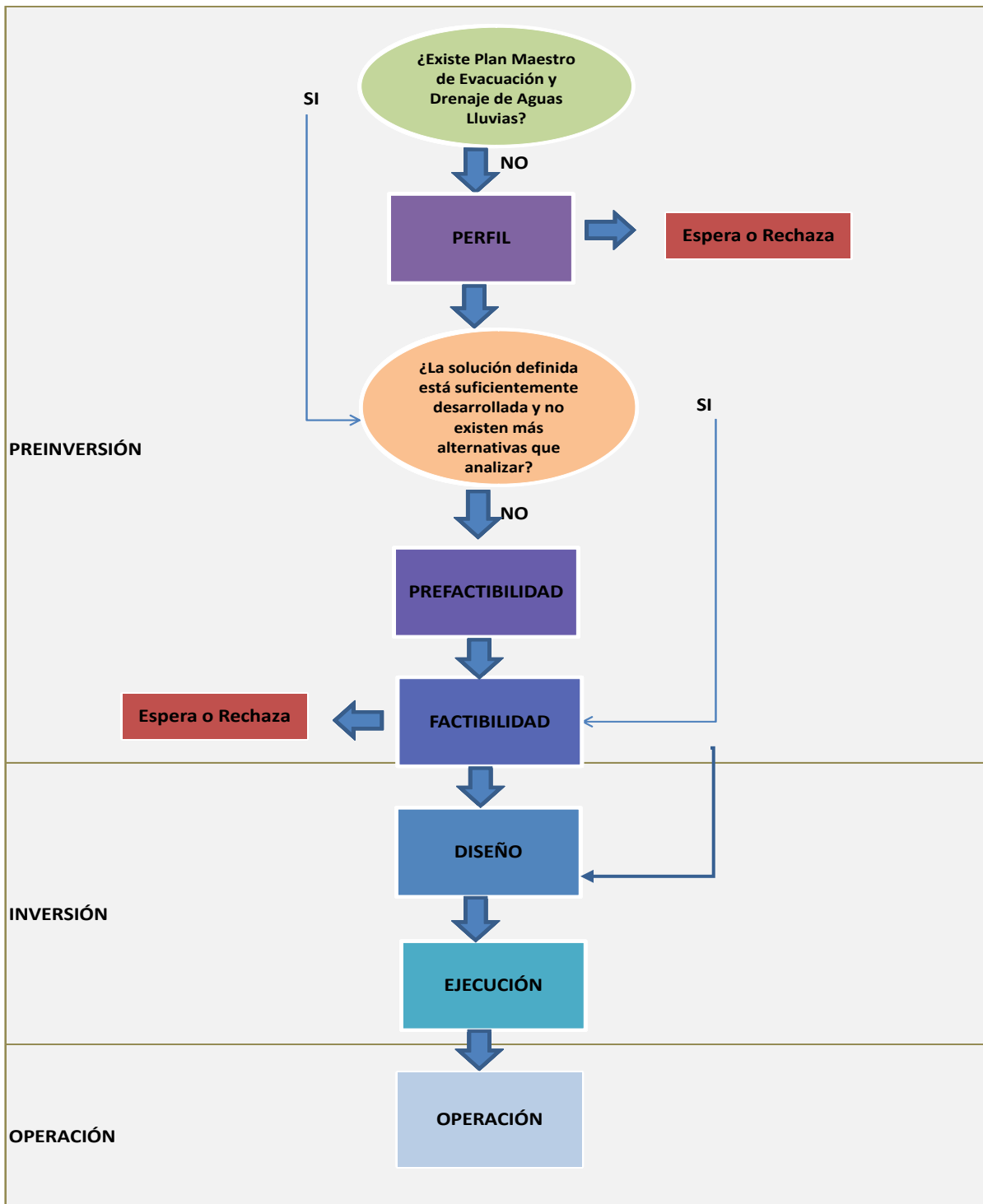
Proyectos que implican la renovación parcial o total de un sistema de evacuación y drenaje de aguas lluvias ya existente, con o sin cambio de la capacidad y/o calidad del mismo, debido al término de su vida útil.

1.4 Ciclo de Vida de los Proyectos

Como en todo proyecto de inversión, en el ciclo de vida de un proyecto de evacuación y drenaje de aguas lluvias, se distinguen las fases de preinversión, inversión y operación.

La ley 19.525 establece la elaboración de un Plan Maestro en el caso de proyectos de evacuación y drenaje de aguas lluvias. Este instrumento representa, desde el punto de vista del Sistema Nacional de Inversiones, un estudio básico, ya que permite por una parte, la realización de un diagnóstico sobre la evacuación y drenaje de las aguas lluvias en un determinado territorio y por otra, la identificación de un conjunto de proyectos independientes para resolver los problemas detectados, los que son analizados a un nivel de perfil. Por lo tanto, el inicio del ciclo de vida de un proyecto de evacuación y drenaje de aguas lluvias depende de la existencia o no de Plan Maestro, tal como se muestra en la figura 1.

FIGURA 1: CICLO DE VIDA DE LOS PROYECTOS DE EVACUACIÓN Y DRENAJE DE AGUAS LLUVIAS



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

a) Preinversión

El objetivo de esta fase es determinar la conveniencia de implementar la iniciativa de inversión y, como tal, busca entregar un criterio de decisión acertado respecto de su ejecución. Este análisis forma parte de la evaluación ex-ante de la inversión.

En general, las etapas de idea y perfil del proyecto son desarrolladas por las unidades técnicas responsables, según si se trata de una red primaria o secundaria. La etapa de prefactibilidad debe incluir la identificación del problema, el diagnóstico de la situación actual, descripción y análisis de alternativas, indicadores de rentabilidad, análisis de sensibilidad y finalmente la justificación de la alternativa seleccionada. En la etapa de factibilidad se debe dar cuenta de la identificación, análisis y selección de la alternativa, como también se debe contar con los antecedentes del Plan Maestro de la ciudad que justifiquen la conveniencia de la inversión, y en caso de ser una red secundaria, el informe del SERVIU que identifique la red primaria receptora y certificado de la DOH que indique la factibilidad de descarga.

b) Inversión

La fase de inversión está compuesta por las etapas de Diseño y Ejecución. El Diseño consiste en la elaboración de la ingeniería de detalle contenida en un Informe del Diseño que debe estar aprobado por la unidad técnica competente (DOH o SERVIU). También se obtienen los terrenos y servidumbres de paso; y las aprobaciones técnicas que correspondan, las cuales son requisitos necesarios para postular a la etapa de ejecución de la obra. En tanto, la etapa de Ejecución se refiere a la construcción de las obras definidas en la etapa de diseño del proyecto y que finalmente dan solución al problema detectado en el estudio de diagnóstico.

c) Operación

Esta fase comienza con la puesta en marcha del proyecto, y en ella se debieran generar los beneficios y costos de operación y mantención esperados.

Después de un período de funcionamiento del proyecto, corresponde realizar los estudios de evaluación ex – post, los que están destinados a analizar el cumplimiento de las proyecciones, tales como la demanda, costos operacionales, entre otras. A partir de sus conclusiones se pueden formular acciones tendientes a corregir eventuales deficiencias técnicas y/o de gestión; y también es posible introducir mejoras en la formulación evaluación de futuros proyectos

2. Formulación del Proyecto

En la formulación de los proyectos de evacuación y drenaje de aguas lluvias, las principales fuentes de información corresponden a la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH) de la Región, Servicio de Vivienda y Urbanización (SERVIU), el Municipio, y los habitantes de la localidad en estudio.

Cualquiera sea la etapa a la que se postula, el proyecto debe ser preparado de acuerdo a la siguiente pauta general.

2.1 Identificación del Problema

Se debe identificar el problema central que afecta la evacuación de las aguas lluvias. Este problema debe ser formulado como un estado negativo por ejemplo, “Sectores urbanos inundados por deficiente servicio de evacuación y drenaje de aguas lluvias” y no como la falta de infraestructura, pues de esta manera se predetermina la solución a adoptar, lo que limita el análisis de alternativas y optimizaciones posibles.

Para la adecuada formulación del proyecto, es conveniente también identificar las causas y los efectos del problema central detectado. De esta manera, al estudiar las causas del problema es posible identificar alternativas de solución que permitirán resolverlo y de esta forma, evitar los efectos que ese problema generaba a la comunidad (beneficios del proyecto).

2.2 Diagnóstico de la Situación Actual

El objetivo del diagnóstico es, en base a un conocimiento técnico, identificar y establecer la magnitud del problema, la población afectada y su crecimiento esperado; describir el área de influencia; describir la forma de evacuación y drenaje de las aguas lluvias actual y su capacidad (oferta), la demanda esperada en el horizonte de evaluación y estimar el déficit actual y proyectado.

a) Antecedentes Generales

Los antecedentes mínimos que deben señalarse son:

- Estudios básicos de la zona en que se ubicará el proyecto (por ejemplo, planes maestros de aguas lluvias, estudios de calidad de suelos, entre otros)
- Estudios de CONAF, MINVU, DGA, DOH, sobre la planificación de cuencas
- Estudios de proyectos de obras de riego, obras fluviales, viales y otros
- Planes reguladores comunales e intercomunales
- Cartografía
- Estadística pluviométrica y fluviométrica del área a estudiar.

- Investigación de eventos hidrometeorológicos extremos. Estadísticas de precipitaciones máximas en 24, 48, 72 horas.
- Información histórica de problemas de inundación de aguas lluvias disponible en Municipios, servicios públicos y en la prensa local.
- Estadísticas de población, vivienda y caracterización socioeconómica del área de estudio.
- Recopilación bibliográfica sobre el tema y entrevistas a profesionales expertos que tengan experiencia en este tipo de proyectos, así como también a las juntas de vecinos y organizaciones comunitarias de la zona en estudio.

Las fuentes de esta información pueden ser: Municipalidades, Dirección General de Aguas (DGA), Dirección Meteorológica de Chile (DGAC), Departamento de Obras Fluviales del nivel regional-MOP, empresas sanitarias, Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Instituto Geográfico Militar, o en cualquier otro organismo público o privado que pudiese tener información de utilidad para el estudio.

b) Identificación del área de influencia y la población objetivo

Se deben identificar las áreas de inundación en el sector de interés y su caracterización debe ser tal que permita conocer la altura del agua y la duración de la inundación, como también la extensión y superficie de ella, para distintos períodos de retorno. Las áreas de inundación para cada tipo de evento se obtienen a través de una simulación que parte desde una situación base optimizada.

Para efectos de esta metodología, se considerará como área de influencia al área de inundación generada por una lluvia de período de retorno de cien años (tormenta centenaria). Esta área de inundación se considera una cota superior de las otras situaciones de inundación, y se ha supuesto como la situación más grave, ya que si bien es posible encontrar lluvias con período de retorno superior a 100 años, las probabilidades de excedencia serán menores que 0,01, valores que para efectos prácticos se han supuesto nulos.

Por otra parte, es importante caracterizar adecuadamente la zona de influencia del proyecto, ya que permite un conocimiento de variables que entregan el marco de referencia en el cual se efectuará y operará el proyecto. Las variables a considerar son:

- Población: Un procedimiento simple para estimar la población afectada por el problema de inundaciones consiste en multiplicar el número de viviendas en el área de influencia por un valor promedio de habitantes por hogar, el que puede obtenerse de información del censo de población (INE), de información disponible en el Municipio o bien, para mayor precisión, de una breve encuesta en el área de influencia.
- Nivel socioeconómico: Se debe caracterizar socio-económicamente la población de la zona de influencia del proyecto, lo cual es posible realizar utilizando información de la encuesta CASEN.
- Número de viviendas: Se debe estimar el número de viviendas para cada tramo. Esto se puede realizar a través de información proveniente de un catastro de las viviendas

en la zona de influencia o bien a través de la aplicación de métodos muestrales que permitan extrapolar los resultados al área de influencia.

- Servicios públicos que se ubican en el área.
- Industria y comercio existente en el área.

2.3 Análisis del sistema actual de evacuación y drenaje de aguas lluvias (Oferta)

En esta etapa se identificará la infraestructura existente, caracterizando las redes de aguas lluvias (unitarias y separadas), los cauces artificiales o naturales, entubados o canalizados, los canales de riego en su paso por la zona urbana que reciben aguas lluvias, las quebradas y cauces naturales que atraviesan zonas urbanas y otras infraestructuras que sirvan como vías de evacuación de aguas lluvias (por ejemplo, calles). Para cada uno de éstos se deberá indicar su estado de conservación y capacidad hidráulica.

Para calcular la capacidad hidráulica de los colectores se utiliza la fórmula de Manning¹. El cálculo se hace en función del diámetro del tubo, la rugosidad de sus paredes y su pendiente.

$$Q = 0,30 * \frac{D^{8/3} * \sqrt{I}}{n}$$

donde:

Q = Caudal (en m³ / segundo)

I = Pendiente de fondo del tubo (adimensional)

D = Diámetro del tubo (m)

n = Coeficiente de rugosidad de Manning (n = 0,015 para cemento comprimido)

En el caso de los canales, su capacidad hidráulica se calcula con la fórmula de Manning, pero su expresión matemática está dada en función de la forma del canal, tipo de rugosidad de las paredes y la pendiente. Los software que permiten calcular la capacidad de un sistema, tanto para tubos como para canales, se basan en la fórmula de Manning.

Además, para la caracterización de la operación del sistema de evacuación y drenaje de aguas lluvias se deberá tomar en cuenta el arrastre de sedimentos en los cauces naturales o artificiales, entubados o canalizados, que atraviesan el área en estudio. El objetivo de esto es cuantificar el gasto sólido de los cauces, para identificar los problemas de arrastre y depósito de sedimentos en los cauces que constituyen la red de drenaje de aguas lluvias de una localidad.

Se deberá realizar también una clasificación geomorfológica de los suelos del área en estudio y su cuenca aportante, desde un punto de vista de su capacidad de retención, infiltración, pendientes y potencial generación de escorrentía.

El proceso de escorrentía superficial en una localidad se caracteriza porque los caudales que llegan a cada calle se van agregando a medida que se dirigen hacia el punto de

¹ Ministerio de Obras Públicas (MOP), "Manual de Drenaje Urbano" versión octubre 2013

evacuación de la cuenca. Es así como en ausencia de un sistema de evacuación de aguas lluvias, se produce el escurrimiento por las calles siguiendo la pendiente del terreno. A esta forma natural de escurrimiento de las aguas se le denomina patrón de escurrimiento y debe determinarse con base en la información topográfica de la cuenca.

La urbanización de los terrenos afecta el coeficiente de escorrentía superficial, por lo que se debe analizar el uso actual y futuro del suelo, considerando los Planes Reguladores Municipales, información del MINVU y polos de desarrollo. Se sugiere elaborar planos con indicaciones sobre las diferentes clasificaciones de urbanización, tales como tipos de viviendas existentes, tipos de construcción permitidos, subdivisión de superficies mínimas, densidades de población actuales, máximas y mínimas permitidas, porcentaje de áreas verdes existentes y requeridas, grado de pavimentación actual y esperado. Además, se debe identificar zonas impermeables como techos, estacionamientos, calles, avenidas, etc.

A continuación se presentan los valores de coeficientes de escorrentía del “Manual de Drenaje Urbano” DOH (2013) utilizados en los proyectos de aguas lluvias.

COEFICIENTES DE ESCORRENTÍA PARA ZONAS URBANIZADAS			
Tipo de zona	Coeficiente		
	Mínimo	Medio	Máximo
Áreas residenciales			
Suburbios semiurbanos	0,25	0,32	0,4
Casas aisladas	0,3	0,4	0,5
Condominios aislados	0,4	0,5	0,6
Condominios pareados o continuos	0,6	0,67	0,75
Departamentos en edificios aislados	0,5	0,6	0,7
Departamentos en edificios continuos	0,7	0,8	0,9
Áreas comerciales			
Comercio de alta densidad	0,7	0,82	0,95
Comercio de baja densidad	0,5	0,6	0,7
Áreas industriales			
Grandes industrias	0,5	0,65	0,8
Pequeñas industrias	0,6	0,75	0,9
Parques, plazas y jardines	0,1	0,17	0,25

FUENTE: “MANUAL DE DRENAJE URBANO” DOH 2013.

COEFICIENTES DE ESCORRENTÍA PARA ZONAS DE NUEVAS URBANIZACIONES

Tipo de superficie	Coeficiente		
	Mínimo	Medio	Máximo
Calles			
Asfalto no poroso	0,7	0,82	0,95
Hormigón	0,8	0,87	0,95
Adoquín de cemento sobre arena	0,5	0,6	0,7
Maicillo, ladrillo	0,3	0,4	0,5
Techos			
Zinc, latón, metálicos en general	0,85	0,9	0,95
Tejas, pizarras, cemento asbesto	0,7	0,8	0,9
Patios			
Baldosas, hormigón	0,8	0,87	0,95
Tierra, sin cobertura	0,5	0,5	0,7
Parques, plazas y jardines			
Prados, suelo arenoso	0,05	0,12	0,2
Prados, suelo arcilloso	0,15	0,25	0,35

FUENTE: "MANUAL DE DRENAJE URBANO" DOH 2013.

COEFICIENTES DE ESCORRENTÍA EN ZONAS RURALES

Tipo de zona	Coeficientes		
	Mínimo	Medio	Máximo
Zonas agrícolas y de bosques o con vegetación natural			
Agrícolas, cultivadas, pend < 2%	0,1	0,12	0,15
Agrícolas, cultivadas, pend 2 a 7%	0,15	0,17	0,2
Agrícolas, cultivadas, pend > 7%	0,2	0,22	0,25
Sin cult., c/veget. Nat., pend. < 2%	0,15	0,17	0,2
Sin cult., c/veget. Nat., pend. 2% a 7%	0,2	0,22	0,25
Sin cult., c/ veget. Nat., pend. > 7%	0,25	0,3	0,35
Semiurbano, parcelas no agrícolas			
Sitios mayores a 5.000 m ²	0,25	0,32	0,4
Sitios menores a 5.000 m ²	0,3	0,4	0,5

FUENTE: "MANUAL DE DRENAJE URBANO" DOH 2013.

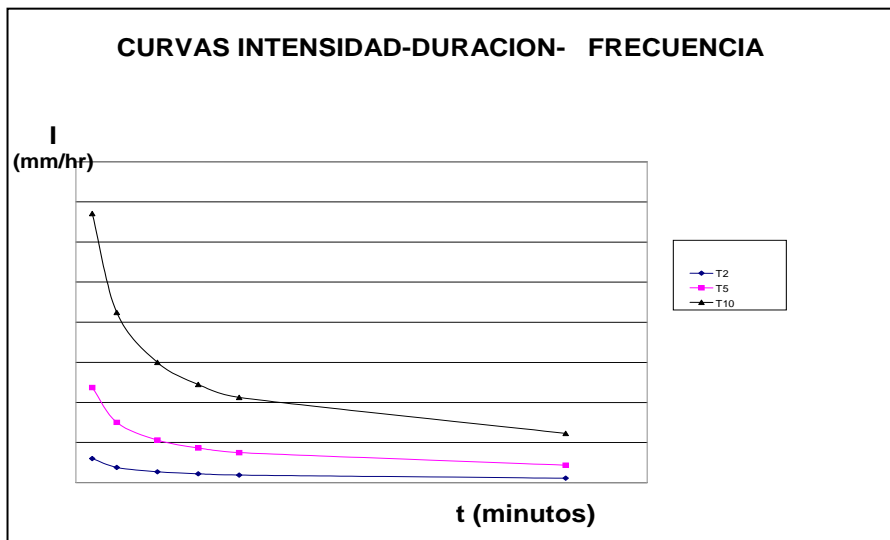
2.4 Análisis de la Demanda actual y proyectada

Se debe realizar un estudio hidrológico que considere la pluviometría y fluviometría del área de estudio. Para ello se deben seleccionar las estaciones pluviométricas y fluviométricas existentes en o cerca del área de estudio y su cuenca aportante, a fin de analizar, corregir, ajustar y extender la estadística correspondiente a un período común que sea lo más reciente posible.

Se deberá calcular las curvas intensidad - duración - frecuencia (curvas IDF) para conocer la tormenta de diseño para 5 períodos de retorno (debe estar incluido el periodo de retorno de 100 años) y 4 duraciones. Esta tarea es de carácter técnico y previa al análisis económico y debe ser realizada por un especialista.

Se acostumbra presentar estas curvas, como se muestra en la figura 2.

FIGURA 2: CURVAS DE INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA



La unidad de medida de la intensidad es [mm/hr] y de la duración es en horas. La demanda para cada evento debe estar medida en [mm/hr].

2.5 Optimización de la Situación Actual

Esta corresponde a pequeñas inversiones o trabajos que eventualmente podrían mejorar la situación actual. En general, trabajos de limpieza de sumideros y cauces naturales pueden constituir una optimización de la situación actual. La simulación de la mancha de inundación debe efectuarse para la situación actual optimizada.

El objetivo de optimizar la situación actual es evitar asignar al proyecto beneficios que no le son propios, ya que pueden ser obtenidos por medios alternativos a un menor costo.

2.6 Balance Oferta-Demanda

A partir de la información de oferta y demanda se establecerán los problemas y déficit que enfrenta el actual sistema de evacuación de aguas lluvias. En particular, se determinarán los puntos de inundación que presente el sistema, debiéndose identificar, para cada uno de los puntos detectados, la altura de inundación en cada una de las tormentas simuladas.

2.7 Análisis de Alternativas

En función de los daños que se pretenden evitar, se deben plantear alternativas técnicamente factibles que den solución al problema. Estas alternativas se definen en relación a los componentes que puede incluir un sistema de evacuación y deben ser comparables entre sí. No deben ser solamente soluciones de tipo estructural sino que también medidas normativas y de gestión.

En esta etapa es relevante identificar proyectos independientes, tanto desde el punto de vista constructivo como operativo o en otras palabras, independencia tanto en la ejecución de las obras como en el funcionamiento hidráulico de la solución planteada.

3. Evaluación Social del Proyecto

La evaluación social de proyectos permite determinar en qué medida un proyecto de inversión tendrá un efecto sobre la sociedad en términos económicos y de bienestar. En el SNI se utilizan dos enfoques de evaluación:

- **Análisis costo-beneficio:** este tipo de análisis permite identificar, entre un conjunto de alternativas de iniciativas de inversión, cuál es la que genera el mayor beneficio neto para la sociedad. Requiere identificar, cuantificar y valorizar todos los beneficios y costos del proyecto, en precios sociales y obtener indicadores como el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR) que permitan concluir sobre la rentabilidad económica del proyecto.
- **Análisis costo-eficiencia:** asume que los beneficios son deseados por la sociedad por lo que no se calcula un valor monetario de los beneficios. El objetivo de este enfoque es evaluar alternativas e identificar aquella que permita obtener el beneficio buscado, utilizando la menor cantidad de recursos. Para ello, se debe realizar una completa identificación, cuantificación y valoración de los costos asociados al proyecto, expresados en precios sociales, para construir posteriormente indicadores como el Valor Actual de Costos (VAC) y el Costo Anual Equivalente (CAE).

Las iniciativas de inversión de evacuación y drenaje de aguas lluvias se evaluarán con un enfoque costo beneficio para aquellas obras con un costo superior a 30.000 UF, en caso contrario se aplicará el criterio costo eficiencia.

3.1 Identificación de Beneficios

Un proyecto de evacuación y drenaje de aguas lluvias puede generar los siguientes beneficios sociales:

- a) **Beneficios por menor daño en propiedades residenciales:** Corresponde a los menores daños que sufren las personas que viven en el sector afectado. Los daños materiales corresponden a daños a la propiedad (deterioro de pisos y muros) y la pérdida o deterioro de enseres (muebles, electrodomésticos, entre otros).
- b) **Beneficio por recuperación de terrenos baldíos anegadizos:** Los terrenos baldíos anegadizos tienen restricciones en términos de las actividades que pueden desempeñarse en ellos y, por lo general, están limitados a cumplir un rol de áreas verdes o equipamiento comunitario. El proyecto, al reducir los efectos de las inundaciones, incrementa el potencial del terreno, permitiendo que se desarrollen actividades de mayor valor económico.
- c) **Beneficio por menor daño en propiedades comerciales e industriales:** Corresponde a disminución de daños como deterioro en equipos e instalaciones, insumos y productos terminados o en proceso.
- d) **Beneficio por menor daño en establecimientos públicos:** Corresponde a los menores daños que sufren los edificios y equipamientos de instituciones públicas como carabineros, consultorios, colegios, bomberos y otros, ubicados en áreas actualmente afectadas por inundaciones. Adicionalmente, en la situación sin proyecto pueden verse afectadas sus actividades normales con el consiguiente costo para los usuarios, por lo que el proyecto al evitar este efecto generará un beneficio adicional.
- e) **Beneficio por menor daño en vehículos:** Corresponde al menor daño que sufren los vehículos a causa de las inundaciones. Los daños del vehículo van a depender de las alturas de inundación ocurridas, los cuales consisten en daños al motor, tapizado interior y carrocería. Con el proyecto, se disminuyen estos daños y por lo tanto se generará un beneficio por el menor daño en vehículos.
- f) **Beneficio por menor deterioro de la infraestructura vial:** La infraestructura vial, específicamente la carpeta de rodadura, sufre daños durante las inundaciones producto de la infiltración del agua por grietas existentes en el pavimento. Esto implica adelantar los trabajos de conservación o, en un caso extremo, la reposición de la carpeta de rodadura dañada. El proyecto, al mejorar la capacidad de escurrimiento superficial de las aguas, disminuye los efectos dañinos de éstas sobre la carpeta de rodadura, por lo que se produce un beneficio por este concepto.
- g) **Beneficio por disminución de los Costos Generalizados de Viaje (CGV):** Las inundaciones de calles y avenidas producen un impacto negativo sobre el tránsito vehicular de la red vial afectada, entendiéndose por ésta no sólo la red que sufre de anegamientos, sino que también aquella que no se encuentra anegada pero que se ve afectada por reasignaciones de tránsito desde sectores anegados. Los usuarios de las vías inundadas se verán afectados, ya sea por que deberán circular a una velocidad inferior a la deseada, o bien, por que deberán modificar su ruta de viaje hacia alternativas con mayores CGV. En el caso de los usuarios de las vías que no sufren de anegamiento, se verán afectados por la reasignación de vehículos desde las vías anegadas, lo que incidirá negativamente en la velocidad de circulación por esas vías. Este efecto sobre la velocidad de circulación incide en un aumento de los CGV, los

cuales dependen principalmente de la valoración del tiempo empleado en el viaje y del costo de operación de los vehículos (combustibles, neumáticos, entre otros).

El proyecto, al mejorar la capacidad de escurrimiento superficial de las aguas, aumenta el nivel de servicio de las vías y por lo tanto, permite un ahorro en los CGV.

- h) Beneficio por menores gastos de emergencia y limpieza de vías y sumideros:** Producto de las inundaciones, las autoridades locales y regionales deben, en primera instancia, prestar ayuda a los afectados por las inundaciones mediante la entrega de enseres y la habilitación de lugares de albergue, así como realizar trabajos de emergencia para aliviar la situación de los sectores más afectados (desvío de cauces, entrega de sacos de arena, entre otras acciones). Posterior a las inundaciones, se deben realizar una serie de trabajos para limpiar las vías y sumideros de los sedimentos arrastrados durante las lluvias.
- i) Beneficio por menor ausentismo laboral:** Al inundarse los sectores residenciales, sus habitantes pueden tener problemas para desplazarse a sus lugares de trabajo, causando ausentismo laboral. Esto tiene un efecto negativo sobre las actividades productivas desempeñadas, lo que se refleja en una pérdida de producción y bienestar. La ejecución del proyecto permite reducir los efectos de las inundaciones y, por lo tanto, produce un beneficio asociado al menor ausentismo laboral.
- j) Beneficio por menor ausentismo escolar:** Al inundarse las propiedades residenciales los escolares pueden tener dificultades para llegar a sus lugares de estudios, lo que genera ausentismo escolar. Con la ejecución del proyecto se espera reducir los efectos negativos de las inundaciones y de esta forma disminuir el ausentismo escolar.
- k) Liberación de recursos públicos en salud:** Este beneficio intenta capturar eventuales necesidades de vacunas (influenza, hepatitis y otras) para proteger a la población de las enfermedades que podrían presentarse en eventos de inundaciones. Con la ejecución del proyecto se espera que exista una menor probabilidad de que la población contraiga enfermedades de tipo infectocontagiosas, lo cual produciría un beneficio por ahorro de esos costos.
- l) Liberación de recursos públicos en ONEMI:** La ONEMI en caso de emergencia dispone de recursos para ir en ayuda de la población afectada. Para el caso de las inundaciones se recopiló la información histórica de los materiales que la ONEMI ha destinado a las regiones. Al ejecutar el proyecto se espera que exista un ahorro de estos recursos, lo cual se traduce como un beneficio del proyecto.
- m) Beneficios no valorados:** En general en toda evaluación económica, el evaluador tiene la opción de no valorar algunos beneficios y costos de montos muy pequeños dado que su exclusión no modifica la decisión final o el alto costo para valorarlos no justifican el esfuerzo dada la magnitud de ese beneficio o costo. El evaluador debe dejarlos en calidad de intangibles y claramente explicitados en el texto.

3.2 Métodos de valoración de beneficios

Para medir y valorar los beneficios de un proyecto de evacuación de aguas lluvias, asociados a un nivel determinado de protección contra inundaciones, esta metodología utiliza dos métodos dependiendo del tipo de beneficios: precios hedónicos y ahorro de costos por daño evitado.

a) *Precios hedónicos*

Este es un método de valoración indirecto que se basa, generalmente, en los precios de las propiedades. En esta metodología se aplica en la estimación de beneficios de recuperación de terrenos baldíos anegadizos, propiedades comerciales y establecimientos públicos.

El fundamento de este método radica en que el precio de un bien depende de las características o atributos que éste contiene; por lo tanto, aislando cada atributo específico es posible establecer su "precio" implícito.

Mediante técnicas econométricas se determina una "ecuación hedónica", a través de la cual se puede estimar el cambio en el precio del bien ante un cambio de uno de sus atributos. En este caso, el atributo es "no inundable" o "se inunda con una baja frecuencia".

b) *Daño evitado esperado*

Este método estima cada uno de los daños evitados con el proyecto respecto de la situación sin proyecto, tanto a los propietarios y usuarios de las viviendas como al resto de los afectados por las inundaciones.

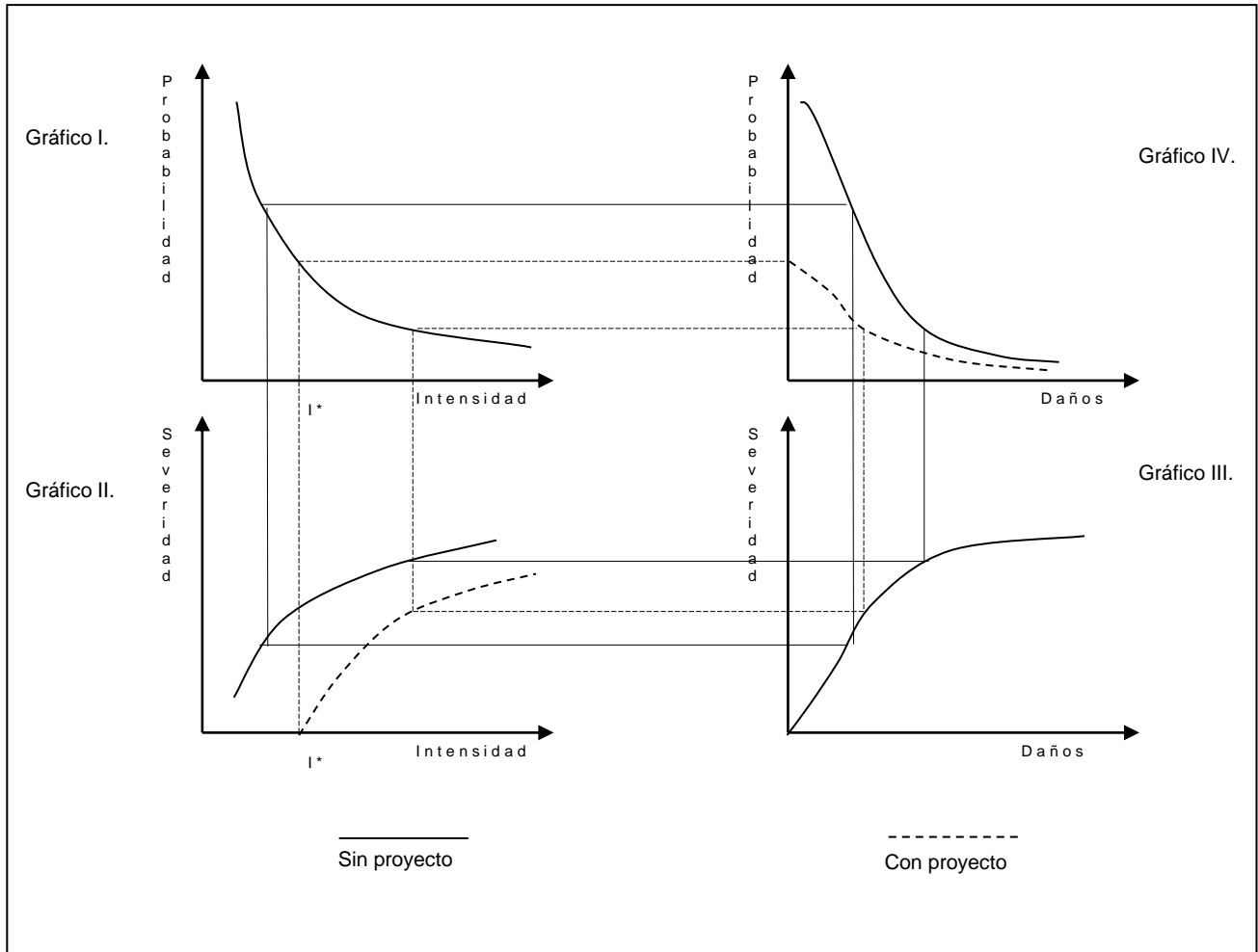
La medida de los beneficios de proyectos de control de inundaciones, calculada por la metodología de daño evitado, viene dada por el valor esperado de los ahorros de costos que se obtienen con el proyecto². Para ello, se debe contar con una curva costos – probabilidad, que permita determinar dicho valor esperado. En virtud de lo anterior es que la construcción de esta curva se logra a través la secuencia ilustrada en los cuatro gráficos, que siguen: (i) las precipitaciones y sus probabilidades de ocurrencia, (ii) niveles de precipitación y severidades de inundación, (iii) severidades de inundación y costos de los daños producidos, y (iv) los costos y sus probabilidades de ocurrencia.

Es evidente que la condición necesaria para que se produzca un fenómeno de inundaciones es la precipitación, por lo que es fundamental una caracterización detallada de ella. Un evento de lluvia (precipitación) corresponde a un fenómeno aleatorio el cual se rige por una función de densidad de probabilidades (conocida o desconocida). En el gráfico I de la figura 3, se muestra una forma típica de la función de probabilidad de precipitaciones. En el eje de las abscisas se incorpora una medida de la magnitud de la lluvia, su intensidad medida en mm/día, mm/hora u otra relevante. Una caracterización completa de un evento de lluvia debe considerar posiblemente también su duración total y

² Soluciones Integrales "Estudio de Valorización de Beneficios de Proyectos de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias" 2001.

forma, y para efectos económicos puede ser relevante la época del año en que ocurre y la hora de inicio y término. Por simplicidad, el gráfico ilustra sólo la dimensión de intensidad. En el eje de las ordenadas se indica la frecuencia de ocurrencia de cada nivel de lluvia en un año hidrológico típico. El gráfico muestra el hecho que las lluvias más corrientes son aquellas de menor intensidad.

FIGURA 3: CURVA PROBABILIDAD-DAÑO



Al producirse las precipitaciones, éstas pueden llegar a causar inundaciones, las que ocurren dependiendo de la topografía de la zona, tipo, condiciones y uso del suelo y otras variables que caracterizan la cuenca en estudio. Por otro lado se sabe que para un mismo lugar, los problemas de inundaciones comienzan a partir de cierto nivel de lluvias, los cuales son mayores a medida que el nivel de intensidad de la lluvia crece. En el gráfico II de la figura 3 queda ilustrado este fenómeno, en el cual se indica que a mayores niveles de precipitaciones, mayores los grados de severidad de las inundaciones que se producen. Hay que considerar también, que la severidad de una inundación es un fenómeno multivariado, pero que usualmente se relaciona con la altura del agua sobre la calle, la duración de la inundación, la velocidad de las aguas, si arrastran sedimentos, y los contaminantes que puedan acarrear. Distintas configuraciones de estos últimos valores (altura, duración, etc.), producen distintos niveles de severidad.

Las inundaciones, de acuerdo con su severidad, pueden causar daños tanto en la naturaleza, como en la propiedad pública y/o privada, los que evidentemente tienen asociado un costo económico. Se observa que para distintas severidades de inundación se tienen diferentes costos, los que crecen a medida que la inundación es más severa. Esta situación queda descrita en el gráfico III de la figura 3.

Finalmente se deduce que estos costos económicos en un año dado son aleatorios, como consecuencia de la aleatoriedad de las lluvias. Se puede por ello construir una curva costos - probabilidad de ocurrencia, a partir de la interconexión de cada una de las etapas descritas anteriormente, según se muestra en el gráfico IV de la figura 3. Es decir, si producto de una lluvia, que tiene una cierta probabilidad de ocurrencia (gráfico I), se produce una inundación con un nivel de severidad (gráfico II) tal que produce un cierto daño (gráfico III), se deduce que la probabilidad de ocurrencia de ese daño (gráfico IV) es la probabilidad de ocurrencia de la precipitación que provocó la inundación. Con estos elementos, se puede obtener el valor esperado producto del ahorro de costos por las inundaciones que evita el proyecto, los cuales corresponden a sus beneficios.

En la Figura 3 se muestra la construcción de la curva daños-probabilidad, para un año dado, considerando en primer lugar la situación bajo análisis sin proyecto. Con la construcción de las obras, para cada nivel de precipitaciones habrá una menor severidad de las inundaciones. De hecho, para lluvias menores al nivel de diseño (I^*) no habría inundaciones mientras que si la lluvia sobrepasa el nivel de diseño seguirá habiendo inundaciones, aunque de menor severidad que en la situación sin proyecto. Este desplazamiento hacia abajo de la curva severidad- intensidad es el resultado directo del proyecto.

A través de la lectura de la curva severidad-daños del gráfico III, se obtiene un desplazamiento de la curva de daños-probabilidad que se indica en el gráfico IV. De esta manera para un año dado, el efecto del proyecto es reducir el daño para cada nivel de lluvia que ocurre.

Siguiendo la teoría de decisiones bajo incertidumbre, y suponiendo neutralidad al riesgo, se puede establecer que el beneficio total asociado a evitar el fenómeno de la inundación estará dado por la esperanza matemática de los menores daños que se obtienen con el proyecto. Luego, los beneficios para un año t estarán dados por la siguiente ecuación:

$$B(t) = \int_0^{\infty} P(i) * [C_0(i) - C_1(i)] di$$

donde,

- B(t) = beneficios del proyecto para un año t,
- P(i) = la probabilidad de ocurrencia de la tormenta de intensidad i,
- C₀(i) = costo asociado a la tormenta de intensidad i, sin proyecto,
- C₁(i) = costo asociado a la tormenta de intensidad i, con proyecto.

Esta ecuación corresponde al valor esperado del ahorro de costos para el año t. En ella se consideran las tormentas de todas las intensidades entre 0 e infinito, aún cuando en la práctica sólo se consideran un número limitado de eventos, los cuales se deben escoger de tal manera que representen el comportamiento del conjunto de las lluvias. Naturalmente, en la función de costos está implícita la relación intensidad de lluvia-severidad de la inundación y la relación entre severidad de la inundación y daños.

La complicación de este método es que se debe cuantificar y valorar cada tipo de beneficio por separado y sólo aquellos beneficios tangibles. Su principal ventaja está en el hecho que su cálculo es más sencillo y de menor costo.

3.3 Estimación de Beneficios Sociales

La estimación de los beneficios de los proyectos de evacuación y drenaje de aguas lluvias se realizará exclusivamente para el área de influencia del proyecto, definida ésta como el área de inundación de la tormenta de período de retorno de cien años (tormenta centenaria).

A continuación se muestran los métodos de valoración de los beneficios.

Tipo de Beneficios	Metodología Actual
Menor daño en propiedades residenciales	Daño Evitado
Recuperación de terrenos baldíos anegadizos	Precio Hedónico
Menor daño en propiedades comerciales e industriales	Precio Hedónico
Menor daño en establecimientos públicos	Precio Hedónico
Menor daño en vehículos	Daño evitado
Menor deterioro de la infraestructura vial	Daño Evitado
Disminución de los costos generalizados de viaje (CGV)	Daño Evitado
Menores gastos de emergencia y limpieza de vías y sumideros	Ahorro de costos
Menor ausentismo laboral	Daño Evitado
Menor ausentismo escolar	Daño Evitado
Liberación de recursos públicos en salud	Ahorro de costos
Liberación de recursos públicos en ONEMI	Ahorro de costos

Estimación del Beneficio Esperado

El beneficio esperado se estima mediante la siguiente expresión matemática:

$$\sum_{i=1}^n (B^{E_i} * P^{E_i})$$

Donde;

B^{E_i} = Beneficio del evento "i"

P^{E_i} = Probabilidad cruzada del evento "i"

n = Número de eventos

Se deben definir el número de eventos según los rangos de duración a considerar y los rangos duración-intensidad o duración-volumen; luego se deberá estimar la probabilidad cruzada de cada evento (ver anexo 1).

Para valorar el beneficio esperado se deben llevar a cabo los siguientes pasos:

1. Identificar los diferentes tramos del área de inundación; y para cada uno de ellos, el número de viviendas, número de locales comerciales, establecimientos públicos, terrenos baldíos.
2. Realizar la modelación para obtener las alturas de inundación en cada tramo, para las situaciones sin (h^{sp}) y con proyecto (h^{cp}), para cada evento modelado (E_i) y sus respectivas probabilidades cruzadas (PC_{E_i});
3. Comparar en cada situación la altura simulada con los rangos de altura establecidos y asignarle el daño correspondiente (D^{sp} o D^{cp}), según el tipo de beneficio.
4. Calcular el diferencial de daños entre la situación sin y con proyecto ($D^{sp} - D^{cp}$) para cada tramo y multiplicar por número de: viviendas, alumnos, trabajadores, vehículos, locales comerciales, establecimientos públicos, terrenos baldíos, longitud de calles, según corresponda (N_x).
5. Realizar una sumatoria para todos los tramos de los diferenciales de daño por cada evento (B^i) y el resultado se debe multiplicar por la probabilidad cruzada (PC_{E_i}) relacionada a ese evento;
6. Sumar los beneficios ponderados de todos los eventos para obtener el beneficio anual esperado.

Suponiendo que se modelan 20 eventos, a continuación se esquematizan los 6 pasos.

Paso 2

Paso 1

Tramo	N°X	Situación sin proyecto					Situación con proyecto				
		PC ₁	PC ₂	...	...	PC ₂₀	PC ₁	PC ₂	...	...	PC ₂₀
		E ₁	E ₂	...	...	E ₂₀	E ₁	E ₂	...	...	E ₂₀
1	...	h ^{sp} ₁	h ^{sp} ₂	...	...	h ^{sp} ₂₀	h ^{cp} ₁	h ^{cp} ₂	...	...	h ^{cp} ₂₀
2	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
3	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
...
...
...
n	n	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

Paso 3

Situación sin proyecto					Situación con proyecto				
PC ₁	PC ₂	...	...	PC ₂₀	PC ₁	PC ₂	...	...	PC ₂₀
E ₁	E ₂	...	...	E ₂₀	E ₁	E ₂	...	...	E ₂₀
D ^{sp} ₁	D ^{sp} ₂	...	...	D ^{sp} ₂₀	D ^{cp} ₁	D ^{cp} ₂	...	...	D ^{cp} ₂₀
...
...
...
...
...
...
...

Paso 4

Diferenciales (Dsp-Dcp)				
PC ₁	PC ₂	...	...	PC ₂₀
E ₁	E ₂	...	...	E ₂₀
(D ^{sp} ₁ -D ^{cp} ₁)*Nx	(D ^{sp} ₂ -D ^{cp} ₂)*Nx	...	...	(D ^{sp} ₂₀ -D ^{cp} ₂₀)*Nx
...
...
...
...

Paso 5

Diferenciales (Dsp-Dcp)				
PC1	PC2	...	...	PC20
E1	E2	...	...	E20
(D ^{sp} ₁ -D ^{cp} ₁)*Nx	(D ^{sp} ₂ -D ^{cp} ₂)*Nx	...	...	(D ^{sp} ₂₀ -D ^{cp} ₂₀)*Nx
↓	↓	↓	↓	↓
B ¹ =Σ((D ^{sp} ₁ -D ^{cp} ₁)*Nx)	B ² =Σ((D ^{sp} ₂ -D ^{cp} ₂)*Nx)	Σ	Σ	B ²⁰ =Σ((D ^{sp} ₂₀ -D ^{cp} ₂₀)*Nx)

Paso 6

E1	E2	E20	BENEFICIO ESPERADO: Σ B ⁱ * PC _i
B ¹ *PC1	B ² *PC2	...	→	B ²⁰ *PC20	

a) *Beneficio por menor daño en propiedades residenciales*

El beneficio por menor daño en propiedades residenciales se estimará con el método de Daño Evitado, el cual mide la diferencia entre los daños sufridos por una vivienda en las situaciones sin y con proyecto. El daño se mide en función de las alturas de inundación que ocurran dentro de una vivienda, para calcularlo se utilizará la valorización económica realizada a la “Vivienda Tipo”³ a nivel nacional, en donde los daños obtenidos para cada altura de inundación fueron los siguientes:

Altura de inundación (cm)	El daño correspondiente (UF)
≤ 20	0
>20 y ≤ 30	15,8
>30 y ≤ 60	89,0
> 60	127,8

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA EN BASE A LA EVALUACIÓN ECONÓMICA SISTEMA GAETE

El método propuesto plantea que si en cada una de las tormentas simuladas la altura de inundación,

- No es mayor a 20 cm, (se inunda la calle, vereda y patio) no hay problemas de inundación al interior de la vivienda, el beneficio es cero. Esto debido a que la altura de la solera en promedio son 20 cm y las alturas son medidas desde el nivel de la calle.
- Es mayor que 20 cm pero no excede los 30 (se inundan los pisos del interior de la vivienda), el beneficio es 15,8 UF.
- Es mayor que 30 cm, pero no excede los 60 (se inundan total o parcialmente algunos enseres de la vivienda), el beneficio es 89,0 UF.
- Es mayor a 60 cm, el beneficio es 127,8 UF (se inundan totalmente algunos enseres de la vivienda).

Para obtener el resultado del beneficio esperado se deben realizar los 6 pasos nombrados en “Estimación del Beneficio Esperado”. El beneficio esperado obtenido deberá registrarse en cada uno de los periodos del horizonte de evaluación.

b) *Beneficio por recuperación de terrenos baldíos anegadizos*

El beneficio por recuperación de terrenos baldíos anegadizos se estimará a través del método de Precios Hedónicos, el cual equivale al cambio en el precio del terreno al mejorar la condición de evacuación y drenaje de aguas lluvias, el que se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

³ Ver Anexo 2: “Procedimiento del Diseño de la Vivienda Tipo y Estimación de Daños”

$$\frac{\Delta P}{P} = e^{(-0,033987\Delta Severidad+0,5\times 0,012^2)} - 1$$

donde,

$\Delta P/P$ = variación en el precio del terreno debido a las obras de evacuación y drenaje de aguas lluvias;

Δ Severidad = variación del valor del Índice de Severidad debido a las obras de evacuación y drenaje de aguas lluvias;

La información de precios actuales de los terrenos de un determinado sector puede ser obtenida a través de consulta a corredores de propiedades, revisión de avisos de compra-venta de terrenos. Alternativamente, se sugiere utilizar la base de datos del Servicio de Impuestos Internos que contiene la tasación fiscal de cada terreno y corregir esta estimación por un factor que dé cuenta de la subvaloración de la tasación respecto del valor comercial, factor que se obtiene a través de estudiar para una muestra representativa, el monto de dicha distorsión (se realiza una sola vez con resultados válidos para muchos años).

Luego, la única variable por despejar es la “severidad”, la cual queda determinada de acuerdo a la siguiente tabla:

ÍNDICE DE SEVERIDAD EN FUNCIÓN DE LA ALTURA DE INUNDACIÓN Y PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA

Altura Inundación (cm)	Probabilidad de Excedencia		
	1%-20%	20% - 50%	> 50%
0 cm.	0	0	0
0,1 - 10 cm.	1	1	1
10,1 - 20 cm.	2	3	4
> 20 cm.	6	7	8

FUENTE: “METODOLOGÍA DE PREPARACIÓN Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS DE EVACUACIÓN Y DRENAJE DE AGUAS LLUVIAS, DIVISIÓN DE EVALUACIÓN SOCIAL DE INVERSIONES. 2014”

El método propuesto plantea que en cada tormentas simuladas la altura de inundación,

- No es mayor que cero centímetros (no hay problemas de inundación), el indicador de severidad es cero.
- Es mayor que cero pero no excede nunca los 10 centímetros, el indicador es 1.
- Es mayor a los 10 centímetros pero no exceda nunca los 20 centímetros, el indicador de severidad será 2 si es que la probabilidad de excedencia de este rango está entre 1% y 20%, 3 si es que la probabilidad de excedencia está entre 20% y 50% (ambos inclusive) y 4 si es que la probabilidad de excedencia es mayor que 50%.

- Es mayor a los 20 centímetros, el indicador será 6 si es que la probabilidad de excedencia de este rango está entre 1% y 20%, 7 si es que la probabilidad de excedencia está entre 20% y 50% (ambos extremos inclusive) y 8 si es que la probabilidad de excedencia es mayor que 50%.

Para obtener el resultado del beneficio esperado se deben realizar los 6 pasos nombrados en la “Estimación del Beneficio Esperado”. El valor obtenido por este método corresponde al valor presente del beneficio esperado por recuperación de terrenos y corresponde registrarlo en el año 0 del flujo de caja del proyecto.

c) *Beneficio por menor daño en propiedades comerciales e industriales*

El daño de los locales comerciales e industriales inundados en un tramo se calcula en función de la altura de inundación al interior de la propiedad, definida como la altura de inundación sobre el nivel de la calle, menos 20 cm. Esto significa que para que se empiece a producir daños al interior del local, la altura mínima (h_{min}) de la inundación debe ser de 20 cm. sobre el nivel de la calle.

El daño de los locales comerciales e industrias inundados se mide como un porcentaje del valor de la propiedad, Pd, el cual variará en función de la altura de la inundación según se muestra a continuación.

PORCENTAJE DE DAÑO EN FUNCIÓN DE LA ALTURA DE INUNDACIÓN

Altura de agua sobre la solera (metros)	Pd (% del valor de la propiedad)
0 – 0,10	0%
0,10 – 0,20	5%
0,20 – 0,30	10%
0,30 y mayores	15%

El beneficio del proyecto viene dado por el diferencial del valor del daño entre las situaciones con y sin proyecto.

Por tanto, la única variable a estimar será el valor de los locales comerciales o propiedades industriales, es decir, un precio promedio por metro cuadrado multiplicado por la superficie promedio de los locales, en cada sector definido.

Para obtener el resultado del beneficio esperado se deben realizar los 6 pasos nombrados en la “Estimación del Beneficios Esperado”. El valor obtenido por este método simplificado corresponde al valor presente del beneficio esperado por menores daños directos en propiedades comerciales o industriales, por lo que corresponde registrarlo en el año 0 del flujo de caja del proyecto.

d) Beneficio por menor daño en establecimientos públicos

En los establecimientos públicos se ha estimado conveniente aplicar la misma metodología de valorización de los beneficios del proyecto que en propiedades comerciales.

e) Beneficio por daño evitado en reparaciones de vehículos

Para la estimación de este beneficio se llegó a considerar dos niveles de daño: para alturas de inundación entre 50 y 100 cm (daños en el motor principalmente), y para una altura superior a 100 cm donde se producen, además daños en asientos y tapicería del vehículo.

Para calcular el beneficio, se tendrá que utilizar el valor medio del vehículo (VMV), el cual es estimado en 192 UF⁴. Para obtener la tasa de motorización (T_m), se debe calcular el cociente entre el número de vehículos y el número de viviendas, el primer dato se obtiene del INE (Anuario parque de vehículos en circulación) y el segundo a partir de la encuesta CASEN.

Para obtener el beneficio esperado se deberá realizar los 6 pasos expuestos en la “Estimación del Beneficio Esperado”, en donde el daño correspondiente según altura de inundación será:

Si la altura de inundación simulada es:	El daño correspondiente es:
<50 cm	0
≥ 50 Y ≤ 100 cm	10%(VMV * T _m * N° viviendas)
> 100 cm	30%(VMV * T _m * N° viviendas)

f) Beneficio por menor deterioro de la infraestructura vial

El beneficio por menor deterioro de la infraestructura vial se calcula como:

$$B_{iv} = Cd^{sp} - Cd^{cp}$$

Donde;

B_{iv} = Beneficio por menor deterioro de la infraestructura vial

Cd^{sp} = Costo anual esperado de deterioro de la infraestructura vial en la situación sin proyecto.

⁴ Valor utilizado en la “Evaluación Socioeconómica del Sistema Gaete, Talcahuano”, DOH 2015. Este valor se calculó a partir de una muestra de 51 vehículos a la venta en el año 2014 en la ciudad de Talcahuano.

Cd^{cp} = Costo anual esperado de reposición de la infraestructura vial en la situación con proyecto.

El daño en la infraestructura vial se determina en función de la superficie inundada y la altura de inundación producida en las calles de interés, información proporcionada por el modelo de simulación de las tormentas, complementada por antecedentes obtenidos en terreno como visitas en días de lluvia, entrevistas a residentes, entre otros.

Para la estimación del costo por deterioro de pavimentos, tanto en las situaciones sin y con proyecto, se aplica la siguiente ecuación:

$$Cd = \Omega^{np} \cdot S^{np} \cdot Cr^{np} + \Omega^p \cdot S^p \cdot Cr^p$$

donde,

Ω^{np} = Coeficiente de rotura para calles no pavimentadas

S^{np} = Superficie no pavimentada que es inundada

Cr^{np} = Costo de reposición de calles no pavimentadas

Ω^p = Coeficiente de rotura para calles pavimentadas

S^p = Superficie pavimentada que es inundada

Cr^p = Costo de reposición de calles pavimentadas

El supuesto que subyace a esta estimación de beneficio es el que la reposición del pavimento no se efectuará después de cada evento; sino que una vez al año.

Los coeficientes de rotura que son función de la altura de inundación en las calles, se presentan en la tabla que sigue.

COEFICIENTE DE ROTURA (Ω) EN FUNCIÓN DE ALTURA DE INUNDACIÓN

Altura del agua (metros)	Calles pavimentadas (Ω^p)	Calles no pavimentadas (Ω^{np})
0,05 – 0,15	0	0,05
0,15 – 0,20	0,01	0,10
0,20 – 0,25	0,02	0,15
0,25 – 0,30	0,03	0,20
Más de 0,30	0,04	0,25

FUENTE: CONSULTORÍA “COLECTOR DE AGUAS LLUVIAS ROTONDA GRECIA –QUILÍN “, IFARLE LTDA. DOH, MOPTT, 2000.

En tanto no se disponga de antecedentes específicos de la zona en estudio, se sugiere utilizar los siguientes valores de costos de reposición de calles⁵:

Calles pavimentadas: UF 2,01 / m²

Calles no pavimentadas: UF 0,33 / m²

El Beneficio anual esperado se calculará según los 6 pasos nombrados en la “Estimación del Beneficio Esperado”.

g) Beneficio por disminución de los Costos Generalizados de Viaje (CGV)

La estimación de este tipo de beneficios se efectúa sobre la base de la siguiente ecuación:

$$B_{CGV} = CGV^{SP} - CGV^{CP}$$

Donde;

B_{CGV} = Beneficio por Costo Generalizado de Viaje

CGV^{SP} = Costo Generalizado de Viaje sin proyecto

CGV^{CP} = Costo Generalizado de Viaje con proyecto

El Costo Generalizado de Viaje (CGV) corresponde a:

$$CGV = C_c + C_t$$

siendo,

CGV = Costo Generalizado de Viaje (CGV)

C_c = costo anual esperado por consumo de combustible

C_t = costo anual esperado de tiempo de viaje

⁵ Valores sugeridos en “Metodología de Preparación y Evaluación de Proyectos de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias”, Ministerio de Desarrollo Social 2014.

Costo de Combustible

Por su parte, el CC_j^i por cada tipo de vehículo “j” y para cada inundación “i” se calculará mediante la siguiente ecuación:

$$CC_j^i = \frac{L}{\eta_j^i} \cdot P_j \cdot F_j \cdot T_i$$

donde,

L = distancia promedio recorrida por los vehículos en el área de inundación (Km.);

η_j^i = Rendimiento del vehículo “j” y para cada inundación “i”(Km/litro)

P_j = Precio social del combustible utilizado por vehículo “j” (\$/litro)

F_j = Flujo vehículos tipo “j” entrante al área de inundación (vehículos / hora)

T_i = Duración de la inundación producida por la tormenta i (horas)

El rendimiento de los vehículos, η_j será función de la altura de inundación, según se muestra en la tabla siguiente

RENDIMIENTO DE VEHÍCULOS EN FUNCIÓN DE ALTURA DE INUNDACIÓN

Altura del agua (metros)	η (Km./litro)
0 -0,05	7,0
0,05 -0,15	5,6
0,15 -0,20	4,2
0,20 -0,25	2,8
0,25 -0,30	1,4
Más de 0,30	No se puede circular

FUENTE: “ACTUALIZACIÓN ESTUDIO PLAN MAESTRO DE AGUAS LLUVIAS DEL GRAN SANTIAGO COLECTOR SANTA ROSA”, AC INGENIEROS CONSULTORES, DOH, MOPTT, 1999. CITADO EN METODOLOGÍA SIMPLIFICADA DOH.

Cuando el agua sobrepasa los 30 centímetros y no se puede circular, para fines de evaluación se sugiere utilizar el mismo costo que se obtiene para una altura entre 25 y 30 centímetros.

La estimación de costos se efectuará para las situaciones con y sin proyecto en las calles que la simulación de tormentas indique que se inundan.

El costo total de combustible entonces estará dado por:

$$CC_T^i = \sum_{j=1}^n CC_j^i$$

Donde;

CC_T^i = Costo total de combustible para cada inundación "i"

CC_j^i = Costo combustible del vehículo "j" y para cada inundación "i"

j= Tipos de vehículos considerados: automóviles, camionetas, buses, taxis, etc.

Costo tiempo de viaje

El costo de tiempo de viaje (CT_j^i) por tipo de vehículo "j" y para cada inundación "i" se calcula con la siguiente fórmula:

$$CT_j^i = t_i \cdot F_j \cdot Vt \cdot T_i$$

donde,

t_i = tiempo de viaje durante la tormenta i

F_j = Flujo vehicular "j" (por hora) multiplicado por la tasa de ocupación vehículo "j"

Vt = valor del tiempo de viaje de los pasajeros para transporte urbano que entrega anualmente el Ministerio de Desarrollo Social

T_i = Duración de la inundación producida por la tormenta i (horas)

A su vez el tiempo de viaje, t_i se estima como:

$$t_i = \frac{L}{V_i}$$

siendo L la distancia recorrida por los vehículos en cada tramo modelado (Km) y V_i la velocidad de circulación media⁶ durante la inundación (Km/hr) y que, a su vez, se estima como:

$$V_i = C_v \times V_n$$

donde,

C_v = coeficiente de reducción de la velocidad en función de la altura de inundación

V_n = velocidad de circulación en condiciones normales (Km/hra)

A continuación se presentan los valores del C_v en función de la altura de inundación.

⁶ Este dato se podrá obtener de los estudios del Sistema de Transporte Urbano (STU) realizado por SECTRA para algunas ciudades del país.

VALORES Cv EN FUNCIÓN DE ALTURA DE INUNDACIÓN

Altura del agua (metros)	Cv
0-0,05	1
0,05 -0,10	0,40
0,10 -0,15	0,30
0,15 -0,20	0,20
0,20 -0,25	0,15
0,25 -0,30	0,10
Más de 0,30	No se puede circular

FUENTE: "ACTUALIZACIÓN ESTUDIO PLAN MAESTRO DE AGUAS LLUVIAS DEL GRAN SANTIAGO COLECTOR AGUAS LLUVIAS VICUÑA MACKENNA", IFARLE LTDA., DIRECCIÓN DE RIEGO, MOP, 1996, CITADO EN METODOLOGÍA SIMPLIFICADA DOH.

Para efectos de evaluación se sugiere utilizar para el caso de inundaciones superiores a 30 centímetros, el valor de Cv correspondiente a inundaciones entre 25 y 30 centímetros.

Por lo tanto el Costo total de tiempo de viaje (CT_T^i) estará dado por:

$$CT_T^i = \sum_{j=1}^n CT_j^i$$

Donde:

CT_T^i = Costo total de tiempo de viaje para cada inundación "i"

CT_j^i = Costo de tiempo de viaje por tipo de vehículo "j" para cada inundación "i"

j= Tipos de vehículos considerados: automóviles, camionetas, buses, taxis, etc.

El Beneficio anual esperado por CGV se calculará según los 6 pasos nombrados en la "Estimación del Beneficio Esperado".

h) Beneficio por menores gastos de emergencia y limpieza de vías y sumideros

Interesa estimar sólo los gastos marginales que se ahorran debido al proyecto, ya que existe una estructura fija de emergencia en Municipalidades, que no se afecta por la intensidad de las inundaciones.

Se debe estimar el número de cuadrillas adicionales a las normales (personal contratado especialmente o redestinado de otras funciones) que intervendrán en las faenas de limpieza de calles después de cada tormenta en estudio; y los demás gastos pueden obtener de las fichas de emergencia (Informe Alfa) que completa la Municipalidad.

Para estimar el beneficio esperado por menores gastos de emergencia se deben llevar a cabo los siguientes pasos:

1. Calcular la media anual de los gastos históricos de la región o comuna por limpieza de vías y sumideros (CML).
2. Calcular el porcentaje de disminución de daño (PDD) como el cuociente entre el daño a las viviendas con proyecto y sin proyecto⁷.
3. Calcular la proporción (PV) entre el número de las viviendas afectadas por la inundación en la situación con proyecto y el número total de las viviendas existentes en la región o comuna, según corresponda.
4. Multiplicar (CML) x (PDD) x (PV), para así obtener el beneficio por menores gastos de emergencia y limpieza en vías y sumideros.

i) Beneficio por menor ausentismo laboral

Para la estimación del beneficio por menor ausentismo laboral se asumieron los siguientes supuestos:

- Para una altura de inundación mayor o igual a 20 cm y menor a 50 cm, se produce un día de ausentismo laboral.
- y para una altura de inundación mayor o igual a 50 cm, se producen 3 días de ausentismo laboral.

Este beneficio se calcula estimando el salario promedio diario de un trabajador y para el caso de la aplicación de esta metodología se deberá utilizar el Ingreso Medio Mensual de los Ocupados de la encuesta NESI publicado por el INE según la región del proyecto.

El Ingreso Medio de los Ocupados Mensual se debe dividir por el número de días hábiles (22 días) para obtener el Costo Diario de la Mano de Obra (CMO). La tasa del número de trabajadores por vivienda (T_t) se debe calcular como el cuociente entre la fuerza laboral ocupada y el número de las viviendas en la región, según fuentes como el INE.

Para obtener el beneficio esperado se deberá realizar los 6 pasos expuestos en la “Estimación del Beneficio Esperado”, en donde el daño correspondiente según altura de inundación será:

Si la altura de inundación simulada es:	El daño correspondiente es:
<20 cm	0
≥20 y <50 cm	$1*(CMO* T_t *N^{\circ} viviendas)$
≥50 cm	$3*(CMO* T_t *N^{\circ} viviendas)$

⁷ Dado que no se cuenta con la relación altura de inundación y nivel de gasto por emergencia y limpieza, para estimar la disminución del gasto se asume la misma proporción de menor daño de la vivienda en las situaciones con y sin proyecto. Esto mismo se aplica en los beneficios de liberación de recursos en salud y en gastos de ONEMI.

j) Beneficio por menor ausentismo escolar

Para la estimación del beneficio por menor ausentismo escolar se asumieron los siguientes supuestos:

- Para una altura de inundación mayor o igual a 20 cm y menor a 30 cm (medida desde la calle); se produce sólo un día de ausentismo;
- Para una altura mayor o igual a 30 cm y menor a 50 cm; se producen 3 días de ausentismo.
- Para una altura superior o igual a los 50 cm se produce un ausentismo de 5 días.

El costo medio diario por alumno (CMA) se aproximará a través del monto de la subvención (mes/alumno) entregada por el Estado, dividida por 22 días hábiles para obtener el costo medio diario.

La tasa del número de alumnos matriculados por vivienda (T_a) se debe calcular como el cociente entre el número de alumnos matriculados y el número de las viviendas ambos datos a nivel regional. Fuentes: “Estadísticas de la Educación” MINEDUC, Centroestudios.mineduc.cl; Encuesta y encuesta CASEN o INE.

Para obtener el beneficio esperado se deberá realizar los 6 pasos expuestos en la “Estimación del Beneficio Esperado”, en donde el daño correspondiente según altura de inundación será:

Si la altura de inundación simulada es:	El daño correspondiente es:
<20 cm	0
≥ 20 y < 30 cm	$1*(CMA * T_a * N^\circ \text{ viviendas})$
≥ 30 y < 50 cm	$3*(CMA * T_a * N^\circ \text{ viviendas})$
≥ 50 cm	$5*(CMA * T_a * N^\circ \text{ viviendas})$

k) Liberación de recursos públicos salud

Este beneficio está dado por los eventuales ahorros que el proyecto puede producir en los gastos realizados en salud, específicamente en vacunas como influenza, hepatitis y otras, para atender a familias de la región afectadas por inundación. Se deberá averiguar si en la región del proyecto existen programas de vacunación ante eventos de inundaciones.

Para obtener el beneficio por ahorro de costos en salud se deben llevar a cabo los siguientes pasos:

1. Calcular la media anual de los gastos históricos de la región en vacunas, en eventos de inundación, para obtener el Costo Medio Salud (CMS).

2. Calcular el Porcentaje de Disminución de Daño (PDD) como el cociente entre el daño a las viviendas con proyecto y sin proyecto.
3. Calcular la proporción (PV) entre el número de las viviendas afectadas por la inundación en la situación con proyecto y el número total de las viviendas existentes en la región.
4. Multiplicar (CMS) x (PDD) x (PV), para así obtener el beneficio por liberación de recursos en salud.

l) Liberación de recursos de la ONEMI en campañas de emergencia

Este beneficio está dado por los eventuales ahorros que el proyecto puede producir en los gastos realizados por la ONEMI para atender a familias damnificadas. Entre estos gastos se encuentran:

1. Cajas de Alimentos
2. Viviendas de Emergencia
3. Mangas plásticas
4. Cajas techo
5. Pañales
6. Grupo generador
7. Motobombas
8. Colchonetas
9. Frazadas
10. Catres de Campaña
11. Cilindros de gas
12. Cocinillas
13. Planchas de Fibrocemento
14. Bobinas Plásticas

Para obtener el ahorro de costos producidos por la liberación de recursos en la ONEMI se deben realizar los siguientes pasos:

1. Calcular la media anual de los gastos históricos de la región registrados por la ONEMI por inundaciones. (CMO)
2. Calcular el porcentaje de disminución de daño (PDD) como el cociente entre el daño a las viviendas con proyecto y sin proyecto.
3. Calcular la proporción (PV) entre el número de las viviendas afectadas por la inundación en la situación con proyecto y el número total de las viviendas existentes en la región.
4. Multiplicar (CMO) x (PDD) x (PV), para así obtener el beneficio por liberación de recursos en ONEMI.

3.4 Identificación de Costos:

- **Costos de Inversión:** corresponden a los costos relacionados con la infraestructura y equipamiento de los sistemas de evacuación y drenaje de aguas lluvias como por ejemplo: movimientos de tierra, instalación de colectores y tuberías, rotura y reposición de pavimentos, entre otros. También incluye los costos de asesoría técnica, obras civiles, acondicionamiento del terreno, entre otros.
- **Costos de operación y mantenimiento:** se registran a lo largo de la vida útil del proyecto y son los que permiten el funcionamiento y la mantención del sistema. Por ejemplo el retiro y disposición de sedimentos; mano de obra del encargado de operar el sistema, etc.

a) Corrección a precios sociales

A partir de los costos de inversión y operación y mantenimiento, se debe construir los flujos netos durante el horizonte de evaluación, valorados a precios sociales.

La evaluación social de proyectos utiliza valores expresados en precios sociales. Éstos se definen como el costo económico o de oportunidad de los bienes y servicios producidos y consumidos en la sociedad. El SNI actualiza e informa anualmente los diferentes precios sociales que son utilizados la evaluación social de proyectos. En términos prácticos, la aplicación de los precios sociales se realiza según lo indicado en la tabla siguiente.

CORRECCIÓN A PRECIOS SOCIALES

	Inversión Inicial	Operación, mantención, monitoreo y transporte
Terreno (expropiaciones)	Valor de Mercado (VM) sin corrección	---
Bienes e insumos nacionales	VM menos IVA	VM menos IVA
Materiales importables	(VM menos IVA y menos aranceles)* FC _D	(VM menos IVA y menos aranceles)* FC _D
Combustibles	Valor publicado por el Ministerio de Desarrollo Social	Valor publicado por el Ministerio de Desarrollo Social
Mano de Obra calificada	VM * FC _{MOC}	VM * FC _{MOC}
Mano de Obra Semicalificada	VM * FC _{MOSC}	VM * FC _{MOSC}
Mano de Obra no Calificada	VM * FC _{MONC}	VM * FC _{MONC}
Gastos Generales y Utilidades	VM menos IVA	VM menos IVA

Para evaluaciones a nivel de perfil y prefactibilidad se puede utilizar un factor de corrección social único para el total de la inversión sin IVA de 0,95 u otro valor que defina el Instructivo “Normas y Procedimientos Proceso de Inversión Pública”, publicado anualmente por el Ministerio de Desarrollo Social.

b) Horizonte de Evaluación

Corresponde al período en que se hará la evaluación del proyecto. En general, el horizonte de evaluación utilizado es menor o igual a la vida útil de las obras. Es por ello, que se sugiere utilizar un horizonte de evaluación de 30 años para este tipo de proyectos.

c) Valor Residual

En el último periodo del horizonte de evaluación, deberá incluirse el valor residual de los activos del proyecto que tengan una vida útil mayor al horizonte de evaluación establecido en 30 años. El valor residual debe registrarse como un beneficio; se puede calcular restando la depreciación acumulada al valor inicial de los activos.

En el caso de terrenos, su valor residual debe ser equivalente al considerado en la inversión, ya que cualquier aumento en su plusvalía, no es un beneficio atribuible al proyecto.

3.5 Cálculo de Indicadores y Criterios de Decisión

El cálculo de indicadores y la aplicación de criterios de decisión permiten seleccionar la alternativa más conveniente. En proyectos de evacuación y drenaje de aguas lluvias, con montos superiores a 30.000 UF se aplicará el enfoque costo beneficio, en caso contrario se utilizará costo eficiencia.

Indicadores Costo Beneficio

a) Tasa social de descuento

Para la evaluación social de proyectos se utiliza la tasa social de descuento, que representa el costo alternativo que significa para el país destinar fondos al proyecto y no a su mejor uso alternativo. Esta tasa se utiliza para actualizar o descontar los flujos futuros del proyecto estimados para el horizonte de evaluación, con el fin estimar los indicadores.

b) Construcción de los Flujos de Beneficios Netos

A continuación se muestra cómo deben presentarse los flujos de beneficios netos que permitirán estimar el indicador costo-beneficio.

CONSTRUCCIÓN DE LOS FLUJOS DE BENEFICIOS NETOS

Ítems	Año 0	Año 1	Año 2	...	Año 30
(1) Beneficios		B ₁	B ₂	...	B ₃₀
(2) Costos Operación		CO ₁	CO ₂	...	CO ₃₀
(3) Costos Mantención		CM ₁	CM ₂	...	CM ₃₀
(4) Inversión	I ₀				
(5) Valor Residual					VR
Flujo de Beneficios Netos (1)-(2)-(3)-(4)+(5)	I ₀	BN ₁	BN ₂	...	BN ₃₀

Donde:

B_t : Beneficio año t

CO_t : Costo operación año t

CM_t : Costo mantención año t

I₀ : Inversión inicial año 0

CT_t : Costo total año t

VR: Valor Residual de la inversión

c) Valor Actual Neto (VAN)

El Valor Actual Neto Social (VANS) de un proyecto es igual al valor actual del flujo neto de beneficios que genera el proyecto en el horizonte de evaluación.

$$\text{Valor Actual Neto Social (VANS)} = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{BN_t}{(1+r)^t} + \frac{VR}{(1+r)^n}$$

donde,

I₀ = Valor actual de la Inversión social del proyecto.

BN_t = Beneficio social neto del proyecto en el período t

VR = Valor Residual

r = Tasa social de descuento del proyecto.

n = Número de años del horizonte de evaluación del proyecto

El VANS representa el beneficio neto actual para el país producto de la ejecución del proyecto. Por lo tanto, la regla de decisión sobre la conveniencia de ejecutar un proyecto es la siguiente:

- Si VANS > 0 ⇒ conviene ejecutarlo.
- Si VANS < 0 ⇒ no conviene ejecutarlo.

- Si $VANS = 0 \Rightarrow$ indiferente entre la ejecución del proyecto de aguas lluvia u otro con rentabilidad igual a la tasa social de descuento.

Cabe señalar que estos criterios son sobre un VANS que fue calculado con un tamaño (periodo de retorno) específico; por lo tanto, si el VANS es negativo, no significa que no deba realizarse ningún tipo de protección contra las inundaciones; si no que el tamaño del proyecto está sobredimensionado y por lo tanto debería reestimarse.

d) Tasa Interna de Retorno Social (TIRS)

La TIRS es la tasa de descuento que hace al VANS de un proyecto igual a cero. Es decir,

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{BN_t}{(1+\rho)^t} + \frac{VR}{(1+\rho)^n} = 0$$

donde ρ es la tasa de descuento que hace el $VANS = 0$ (TIRS)

La regla de decisión sobre la conveniencia de ejecutar un proyecto utilizando el criterio de la TIRS es la siguiente:

- Si la $TIRS > r \Rightarrow$ el proyecto conviene ejecutarlo
- Si la $TIRS < r \Rightarrow$ el proyecto no conviene ejecutarlo
- Si la $TIRS = r \Rightarrow$ indiferente entre la ejecución del proyecto de aguas lluvia u otro con rentabilidad igual a la tasa social de descuento.

El criterio de la TIRS presenta algunos inconvenientes en su utilización, tales como la existencia de proyectos con múltiples TIRS o en los cuales no existe TIRS, como también el que no permite la comparación de proyectos mutuamente excluyentes.

c) Valor Anual Equivalente (VAE)

El Valor Anual Equivalente indica cual es el beneficio que entrega el proyecto anualmente. Se utiliza para comparar los proyectos con distinta vida útil y que sean repetibles.

Se obtiene a través del VAN y el factor de recuperación, como se muestra a continuación.

$$VAE = \frac{VANS}{\left(\frac{(1+r)^n - 1}{r \times (1+r)^n} \right)}$$

Indicadores Costo-Eficiencia

a) Construcción del flujo de Costos Anuales

A continuación se muestra cómo deben presentarse los flujos netos de costos anuales que permitirán estimar el indicador costo-eficiencia.

CONSTRUCCIÓN DE LOS FLUJOS DE COSTOS ANUALES

Ítems	Año 0	Año 1	Año 2	...	Año 30
(1) Costos Operación		CO ₁	CO ₂	...	CO ₃₀
(2) Costos Mantención		CM ₁	CM ₂	...	CM ₃₀
(3) Inversión	I ₀				
(4) Valor Residual					VR
Flujo de Costos (1)+(2)+(3)-(4)	I ₀	CT ₁	CT ₂	...	CT ₃₀

Donde:

CO_t : Costo operación año t

CM_t : Costo mantención año t

I₀ : Inversión inicial año 0

CT_t : Costo total año t

VR: Valor Residual de la inversión

b) Valor Actual de Costos Sociales (VACS)

Cuando las alternativas de un proyecto, además de proporcionar beneficios similares, tienen igual vida útil o diferentes vidas útiles pero los proyectos son no repetibles, entonces se requiere calcular el Valor Actual de Costos Sociales para cada una de ellas:

$$VACS = I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{CT_t}{(1+r)^t}$$

donde,

VACS = Valor Actual de Costos Sociales descontado a la tasa r;

I₀ = Inversión inicial;

CT_t = Costo Total Social de operación y mantenimiento en el período t.

n= número de años del horizonte de evaluación;

r = tasa de descuento;

c) Costo Anual Equivalente (CAE)

Cuando las alternativas analizadas tienen vidas útiles distintas y los proyectos sí son repetibles, no es posible utilizar directamente el VACS para compararlas; se requiere llevar previamente ambas alternativas a un período de tiempo común.

Alternativamente, se puede utilizar el Costo Anual Equivalente, que corresponde a un valor uniforme de costo anual y que es equivalente al flujo de costos de la alternativa de proyecto analizada por un periodo infinito.

El CAE se calcula de la siguiente forma:

$$CAE = \frac{VACS}{\left(\frac{(1+r)^n - 1}{r \times (1+r)^n} \right)}$$

d) Costo anual equivalente por vivienda

El costo anual equivalente por vivienda es un indicador de efectividad que mide cuánto cuesta anualmente el servicio de evacuación y drenaje de aguas lluvias por cada vivienda beneficiada. Sirve para comparar los costos anuales de proyectos que posean características similares entre sí.

$$CAE \text{ por vivienda} = \frac{CAE}{N^{\circ} \text{ viviendas del área de influencia}}$$

3.6 Análisis de Riesgo

En esta sección se analizan las fuentes de riesgo durante las etapas de inversión y operación de los proyectos de evacuación y drenaje de aguas lluvias y se indican los métodos posibles para incorporar el riesgo en su evaluación.

a) Fuentes de Riesgo

En el siguiente cuadro se detallan las principales fuentes de riesgo de los proyectos de evacuación y drenaje de aguas lluvias, durante sus etapas de inversión y operación.

FUENTES DE RIESGO EN PROYECTOS DE AGUAS LLUVIAS

Etapa	Fuente de Riesgo
<p>Inversión</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Variabilidad en costos: <ul style="list-style-type: none"> ○ Cambio en precios unitarios ○ Cambio en cantidades contratadas ○ Obras no consideradas ○ Imprevistos (fuerza mayor) ○ Expropiaciones ○ Consideraciones ambientales • Variabilidad del tiempo de construcción: <ul style="list-style-type: none"> ○ Administración del proyecto ○ Obras no consideradas ○ Existencia de imprevistos (fuerza mayor) ○ Expropiaciones ○ Consideraciones ambientales
<p>Operación</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Variabilidad de los beneficios: <ul style="list-style-type: none"> ○ Pluviometría (variable aleatoria) ○ Cambio en la velocidad de urbanización ○ Cambio en valor de propiedades ○ Valor residual • Variabilidad de los Costos de Operación y Mantenimiento <ul style="list-style-type: none"> ○ Cambio en precios de insumos ○ Actividades no consideradas ○ Existencia de imprevistos

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

b) Formas de incorporar el Riesgo

Tanto la metodología de precios hedónicos como la metodología de daño evitado incorporan el hecho de que la pluviometría es una variable aleatoria, por lo que el valor de beneficios que se obtiene corresponde a un valor esperado.

Para incorporar en el análisis el riesgo asociado a las otras fuentes identificadas en la sección anterior, se debe realizar un análisis de sensibilidad como se indica a continuación.

Análisis de Sensibilidad

Tipo de Evaluación	Variable a Sensibilizar	Procedimiento
Costo-Beneficio	Inversión	<ul style="list-style-type: none"> • Calcular VANS \pm 10% del monto de inversión. • Calcular porcentaje de variación en el monto de Inversión que hace al VANS del proyecto igual a cero.
	Costos de Operación y Mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> • Calcular VANS \pm 30% del costo de operación y mantenimiento.
	Beneficios	<ul style="list-style-type: none"> • VANS \pm 20% cambio en el valor total beneficios • VANS \pm 20% valor de la propiedad (beneficios locales comerciales e industriales, recuperación de terrenos baldíos y establecimientos públicos) • VANS \pm 20% valor residual • Calcular el porcentaje de cambio en los beneficios totales que hace al VANS del proyecto igual a cero.
Costo Eficiencia	Inversión	<ul style="list-style-type: none"> • Calcular VACS o CAES \pm 30% del monto de inversión.
	Costos de Operación y Mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> • Calcular VACS o CAES \pm 30% del costo de operación y mantenimiento.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Referencias Bibliográficas

Dirección de Obras Hidráulicas (2013). “Manual de Drenaje Urbano” Ministerio de Obras Públicas, Gobierno de Chile.

Estellé, L., et al (2014). “Caracterización de las Duraciones de Lluvias de Diseño para las Regiones de Chile, Metropolitana, Maule y Bío-Bío”. XXVI Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Santiago de Chile.

Perez, V. (2013). “Propuesta de metodología de beneficio de daño evitado de inundaciones, basada en daños patrimoniales. Análisis de un caso: Mejoramiento del Estero Quilque”. División de Estudios y Desarrollo, Dirección General de Obras Públicas, Ministerio de Obras Públicas, Gobierno de Chile.

Sistema Nacional de Inversiones (2014). “Metodología de Preparación y Evaluación de Proyectos de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias” División de Evaluación Social de Inversiones, Ministerio de Desarrollo Social, Gobierno de Chile.

Anexo 1

Daños Evitados y su Distribución de Probabilidades

Para estimar el Daño Evitado esperado se requiere contar con la distribución de probabilidades del daño por evento. De acuerdo a lo expresado en la figura 3 del capítulo 3, se asume que esta probabilidad está dada por la probabilidad de la lluvia que causa el daño respectivo.

La caracterización de las precipitaciones debiera contener al menos dos dimensiones, la intensidad de la precipitación y la duración de la misma, o bien, los milímetros de agua caída y su duración. Lo anterior se explica debido a que un evento de lluvia generará distintos niveles de inundación, dependiendo de las combinaciones de mm de agua caída y el tiempo en que demora en hacerlo. La misma cantidad de agua caída en un intervalo más corto de tiempo generará inundaciones más graves que si ésta ocurre en un intervalo de tiempo mayor. Por lo tanto, una función de densidad de probabilidades de ocurrencia de una lluvia dada tendrá al menos estas dos variables.

Si se considera las siguientes variables independientes:

PP = Volumen máximo anual de precipitación (milímetros de agua caída), y

D = Duración correspondiente al máximo volumen anual de precipitación registrado.

Se tiene que la función de distribución de probabilidades estará dada por:

$$f_{PP,D}(PP, D) = f_{PP}(PP) * f_D(D)$$

Las función densidad marginal $f_{PP}(PP)$ y $f_D(D)$ se deben ajustar utilizando los datos de precipitación registradas en la estación pluviométrica más representativa del área de influencia, para las variables mm de agua caída y duración de lluvia.

1. Matriz de Probabilidades Cruzadas

El valor esperado de los beneficios anuales obtenidos mediante la metodología del daño evitado está dado por la siguiente expresión:

$$VE(B) = \iint f_{PP}(PP) * f_D(D) * B(PP, D) dPP dD ,$$

expresión que también puede ser reescrita como:

$$VE(B) = \iint \frac{\partial F_{PP}(PP)}{\partial PP} * \frac{\partial F_D(D)}{\partial D} * B(PP, D) dPP dD$$

donde

$B(PP,D)$ =beneficio asociado a un escenario anual de tormenta que produce PP milímetros de agua caída en D horas.

$f_{PP}(PP)$ =función de distribución o de densidad de probabilidad que describe el volumen de la máxima precipitación anual

$F_{PP}(PP)$ = función de distribución acumulada que describe el volumen de la máxima precipitación anual

$f_D(D)$ = función de distribución o de densidad de probabilidad que describe la duración de la máxima precipitación anual

$F_D(D)$ = función de distribución acumulada que describe la duración de la máxima precipitación anual

En la práctica, este cálculo del valor esperado se realiza mediante una aproximación discreta de la doble integral involucrada, utilizando una matriz de probabilidades cruzadas, la cual es posible definir dada la naturaleza bivariada de la caracterización de las lluvias.

La tabla siguiente presenta una matriz que recoge N escenarios de precipitaciones máximas anuales y M escenarios de duración de éstas.

			Duración				
			D ₁	D ₂	...	D _j	D _m
			[D ₁₋ , D ₁₊]	[D ₂₋ , D ₂₊]	...	[D _{j-} , D _{j+}]	[D _{m-} , D _{m+}]
Precipitaciones	PP ₁	[PP ₁₋ , PP ₁₊]					
	PP ₂	[PP ₂₋ , PP ₂₊]					
					
	PP _i	[PP _{i-} , PP _{i+}]					
	PP _n	[PP _{n-} , PP _{n+}]					

Cada una de las N precipitaciones se consideran representativas de un rango definido por un límite inferior denominado PP_{i-}, y un límite superior PP_{i+}. Del mismo modo, las M duraciones se consideran representativas de un rango definido por un límite inferior y superior D_{j-}, y D_{j+}, respectivamente.

A continuación se presenta el método propuesto en esta metodología para el cálculo de las probabilidades a partir de los rangos de precipitación y duración.

Estimación de la Probabilidad de la Precipitación

La probabilidad de cada precipitación corresponde a:

$$f_{PP}(PP_i) = F_{PP}(PP_{i+}) - F_{PP}(PP_{i-})$$

Es decir, la diferencia entre las probabilidades acumuladas de los límites superior e inferior del rango respectivo. Éstas últimas se estiman mediante las siguientes expresiones:

$$F_{PP}(PP_{i+}) = 1 - \frac{\frac{1}{T_i} + \frac{1}{T_{i+1}}}{2}$$

$$F_{PP}(PP_{i-}) = \frac{\left(1 - \frac{1}{T_i}\right) + \left(1 - \frac{1}{T_{i-1}}\right)}{2} = 1 - \frac{\frac{1}{T_i} + \frac{1}{T_{i-1}}}{2}$$

Donde T_i es el periodo de retorno de la precipitación i .

De lo anterior, y considerando que la probabilidad del límite inferior de T_1 debe ser 0, y la probabilidad acumulada del límite superior de T_n debe ser 1, se tiene el siguiente resultado:

Marca de Clase o escenario de periodo de retorno	Intervalos propuestos de Probabilidad	Rangos de Probabilidad (Lim Superior-Lim Inferior) $F_{PP}(PP_{i+}) - F_{PP}(PP_{i-})$
T_1	$\left[0, 1 - \frac{1/T_1 + 1/T_2}{2}\right]$	$1 - \frac{1/T_1 + 1/T_2}{2}$
T_2	$\left[1 - \frac{1/T_1 + 1/T_2}{2}, 1 - \frac{1/T_2 + 1/T_3}{2}\right]$	$\frac{1/T_1 - 1/T_3}{2}$
....		
T_i	$\left[1 - \frac{1/T_{i-1} + 1/T_i}{2}, 1 - \frac{1/T_i + 1/T_{i+1}}{2}\right]$	$\frac{1/T_{i-1} - 1/T_{i+1}}{2}$
...		
T_N	$\left[1 - \frac{1/T_{N-1} + 1/T_N}{2}, 1\right]$	$\frac{1/T_{N-1} + 1/T_N}{2}$

Estimación de la Probabilidad de la Duración

La probabilidad de cada duración corresponde a:

$$F_D(D_j) = F_D(D_{j+}) - F_D(D_{j-})$$

Es decir, la diferencia entre las probabilidades acumuladas de los límites superior e inferior del rango respectivo. Éstas últimas se estiman mediante las siguientes expresiones:

$$F_D(D_{j+}) = \frac{F(D_j) + F(D_{j+1})}{2}$$

$$F_D(D_{j-}) = \frac{F(D_j) + F(D_{j-1})}{2}$$

De lo anterior, y considerando que la probabilidad del límite inferior de T_1 debe ser 0, y la probabilidad del límite superior de T_n debe ser 1, se tiene el siguiente resultado:

Marca de Clase o escenario de Duración	Intervalos propuestos de Probabilidad	Rangos de Probabilidad (Lim. Superior- Lim. Inferior) $F_D(D_{j+}) - F_D(D_{j-})$
D_1	$\left[0, \frac{F_D(D_1) + F_D(D_2)}{2} \right]$	$\frac{F_D(D_1) + F_D(D_2)}{2}$
D_2	$\left[\frac{F_D(D_1) + F_D(D_2)}{2}, \frac{F_D(D_2) + F_D(D_3)}{2} \right]$	$\frac{F_D(D_3) - F_D(D_1)}{2}$
...		
D_j	$\left[\frac{F_D(D_{j-1}) + F_D(D_j)}{2}, \frac{F_D(D_j) + F_D(D_{j+1})}{2} \right]$	$\frac{F_D(D_{j+1}) - F_D(D_{j-1})}{2}$
...		
D_M	$\left[\frac{F_D(D_{M-1}) + F_D(D_M)}{2}, 1 \right]$	$1 - \frac{F_D(D_{M-1}) + F_D(D_M)}{2}$

Estimación de las probabilidades Cruzadas

A partir de los resultados de las dos tablas anteriores, la matriz de rangos de probabilidades cruzadas a emplear para estimar el beneficio esperado anual, queda como sigue:

		Marcas de Clase de Duración					
		D_1	D_2	...	D_j	...	D_M
Marcas de Clase de Periodos de Retorno	T_1	$\left(1 - \frac{1/T_1 + 1/T_2}{2}\right) \times \left(\frac{F_D(D_1) + F_D(D_2)}{2}\right)$	$\left(1 - \frac{1/T_1 + 1/T_2}{2}\right) \times \left(\frac{F_D(D_3) - F_D(D_1)}{2}\right)$		$\left(1 - \frac{1/T_1 + 1/T_2}{2}\right) \times \left(\frac{F_D(D_{j+1}) - F_D(D_{j-1})}{2}\right)$		$\left(1 - \frac{1/T_1 + 1/T_2}{2}\right) \times \left(1 - \frac{F_D(D_{M-1}) + F_D(D_M)}{2}\right)$
	T_2	$\left(\frac{1/T_1 - 1/T_3}{2}\right) \times \left(\frac{F_D(D_1) + F_D(D_2)}{2}\right)$	$\left(\frac{1/T_1 - 1/T_3}{2}\right) \times \left(\frac{F_D(D_3) - F_D(D_1)}{2}\right)$		$\left(\frac{1/T_1 - 1/T_3}{2}\right) \times \left(\frac{F_D(D_{j+1}) - F_D(D_{j-1})}{2}\right)$		$\left(\frac{1/T_1 - 1/T_3}{2}\right) \times \left(1 - \frac{F_D(D_{M-1}) + F_D(D_M)}{2}\right)$
	...						
	T_i	$\left(\frac{1/T_{i-1} - 1/T_{i+1}}{2}\right) \times \left(\frac{F_D(D_1) + F_D(D_2)}{2}\right)$	$\left(\frac{1/T_{i-1} - 1/T_{i+1}}{2}\right) \times \left(\frac{F_D(D_3) - F_D(D_1)}{2}\right)$		$\left(\frac{1/T_{i-1} - 1/T_{i+1}}{2}\right) \times \left(\frac{F_D(D_{j+1}) - F_D(D_{j-1})}{2}\right)$		$\left(\frac{1/T_{i-1} - 1/T_{i+1}}{2}\right) \times \left(1 - \frac{F_D(D_{M-1}) + F_D(D_M)}{2}\right)$
	...						
	T_N	$\left(\frac{1/T_{N-1} + 1/T_N}{2}\right) \times \left(\frac{F_D(D_1) + F_D(D_2)}{2}\right)$	$\left(\frac{1/T_{N-1} + 1/T_N}{2}\right) \times \left(\frac{F_D(D_3) - F_D(D_1)}{2}\right)$		$\left(\frac{1/T_{N-1} + 1/T_N}{2}\right) \times \left(\frac{F_D(D_{j+1}) - F_D(D_{j-1})}{2}\right)$		$\left(\frac{1/T_{N-1} + 1/T_N}{2}\right) \times \left(1 - \frac{F_D(D_{M-1}) + F_D(D_M)}{2}\right)$

Las probabilidades cruzadas calculadas según la tabla corresponden a la probabilidad P_i^E indicada en el punto 3.3 de la metodología, es decir, es la probabilidad que permite estimar el beneficio esperado.

Por lo tanto, bajo la propuesta de cálculo de las probabilidades cruzadas, el beneficio esperado quedaría expresado por la siguiente ecuación:

$$VE(B) = \sum_i \sum_j (F_{PP}(PP_{i+}) - F_{PP}(PP_{i-})) * (F_D(D_{j+}) - F_D(D_{j-})) * B(PP_i, D_j)$$

2. Funciones de Distribución de Probabilidades mayormente empleadas en Hidrología

Varas y Bois en su texto Hidrología Probabilística (1998) mencionan el uso frecuente de ciertas funciones de probabilidad en el contexto de la Hidrología, las cuales se muestran en la siguiente tabla. En el contexto de la aplicación de la presente metodología, éstas pueden ser empleadas para describir tanto la magnitud como la duración de la serie de precipitaciones máximas anuales.

Nombre	Función de Densidad y/o de Probabilidad Acumulada	Estimación de Parámetros más usada
Frecuencia Empírica propuesta por Weibull	$P(X \leq x_k) = \frac{m_k}{N + 1}$	x_k es el cuantil de interés o valor observado m_k es el número de orden del cuantil. Los cuantiles o valores observados deben ser ordenados en orden ascendente. N es el número de datos observados
Valores Extremos Tipo I o Gumbel	$f(x) = \exp \{-\exp[-\alpha(x - \beta)]\}$	$\alpha = \frac{1,2825}{S_x}; \quad \beta = \bar{x} - 0,45005 \times S_x$
Valores Extremos Tipo II	$f(x) = \frac{k}{u} \left(\frac{u}{y}\right)^{k-1} \exp\left\{-\left(\frac{u}{y}\right)^k\right\}$ $F(x) = \exp\left\{-\left(\frac{u}{y}\right)^k\right\}$	$\bar{y} = u\Gamma\left(1 - \frac{1}{k}\right)$ $S_x^2 = u^2 \left\{\Gamma\left(1 - \frac{2}{k}\right) - \Gamma^2\left(1 - \frac{1}{k}\right)\right\}$
Normal	$f(x) = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} \exp\left\{-0,5\left(\frac{x - \mu_x}{\sigma_x}\right)^2\right\}$	$\sigma_x = S_x; \quad \mu_x = \bar{x}$

Log Normal -2	$y = \ln(x)$ $f(x) = \frac{1}{x\sigma_Y\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-0,5\left(\frac{\ln(x) - \mu_Y}{\sigma_Y}\right)^2\right\}$	$\sigma_Y = S_Y; \quad \mu_Y = \bar{y} = \overline{\ln(x)}$
Exponencial	$f(x) = \lambda \times \exp(-\lambda x)$ $F(x) = 1 - \exp(-\lambda x)$	$\lambda = \frac{1}{x}$
Gamma o Pearson Tipo III	$f(x) = \frac{1}{\alpha \times \Gamma(\beta)} \left(\frac{x-\gamma}{\alpha}\right)^{\beta-1} \exp\left\{-\left(\frac{x-\gamma}{\alpha}\right)\right\}$	$\alpha = \frac{S_x}{\sqrt{\beta}}; \quad \beta = \frac{2}{C_v}; \quad \gamma = \bar{x} - S_x \sqrt{\beta}$
Gamma-2	$f(x) = \frac{1}{\alpha \times \Gamma(\beta)} \left(\frac{x}{\alpha}\right)^{\beta-1} \exp\left\{-\left(\frac{x}{\alpha}\right)\right\}$	$\beta = \frac{\bar{x}^2}{S_x^2}; \quad \alpha = \frac{S_x^2}{\bar{x}}$

S, μ, desviación estándar y media muestral, respectivamente

FUENTE: HIDROLOGÍA PROBABILÍSTICA, VARAS Y BOIS (1998)

Todo este conjunto de distribuciones de probabilidad han sido ampliamente discutidas, tanto en su descripción como en la estimación de sus parámetros por Varas y Bois (1998) y por otros autores, por lo que se recomienda la lectura de este material o similar en caso de querer profundizar más los conceptos.

En la medida que exista una robusta base de datos de registros de precipitaciones máximas anuales, es posible realizar ajustes que permitan obtener y caracterizar tanto el periodos de retorno de la magnitud de la precipitación máxima anual como su duración, eligiendo alguna función de distribución paramétrica (la frecuencia empírica no es paramétrica) en base a algún criterio de bondad de ajuste con alguna medida empírica (como por ejemplo la Frecuencia Empírica propuesta por Weibull en tabla anterior).

Por ejemplo, un criterio de bondad de ajuste ad-hoc sería emplear el Test Chi-Cuadrado para comparar en una cantidad de intervalos, las frecuencias ajustadas con las observadas y calculando el siguiente estadígrafo:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{K \leq N} \left(\frac{O_i - E_i}{E_i}\right)^2 \sim \chi^{2, K-G-1}$$

Donde:

N es el número de valores observados,

K el número de intervalos considerados,

O_i es el valor i observado de la variable,

E_i es el valor estimado por la función de probabilidad testeada

G es el número de parámetros estimados de la función de distribución (normalmente 2)

El estadígrafo χ^2 está caracterizado por una distribución χ^2 con K-G-1 grados de libertad.

El procedimiento es calcular el estadígrafo χ^2 para varias distribuciones y elegir aquella distribución que arroje un menor valor de dicho estadígrafo.

En caso de no disponer de información suficiente para poder caracterizar en el área de influencia del proyecto el comportamiento de las precipitaciones en cuanto a periodo de retorno y duración de la serie de precipitaciones máximas anuales, esta metodología recomienda emplear las siguientes distribuciones, conforme al trabajo realizado por Estellé et al (2014):

- **Distribución Weibull o Log Normal de 2 parámetros** para áreas de influencia cercanas a la estación Quinta Normal de Santiago (Latitud 33°26'41,09; Longitud 70°40'58,02). Para este caso, Estellé et al (2014) recomiendan considerar:

$$F(y) = \int_{-\infty}^y \frac{1}{0,557\sqrt{2\pi}} e^{\frac{1}{2}\left(\frac{x-2,737}{0,557}\right)^2} dy$$

- **Distribución Normal** para áreas de influencia cercanas a la estación Curicó de la Región del Maule (Latitud 34°57'58; Longitud 71°13'32). Para este caso, Estellé et al (2014) recomiendan considerar:

$$F(x) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{7,88\sqrt{2\pi}} e^{\frac{1}{2}\left(\frac{x-23,48}{7,88}\right)^2} dx$$

- **Distribución Gumbel o de Valores Extremos Tipo I** para áreas de influencia cercanas a la estación Chillán de la Región del Bío-Bío (Latitud 33°35'14, Longitud 72°02'23,82). Para este caso, Estellé et al (2014) recomiendan considerar:

$$F(x) = e^{-e^{-0,0835(x-20,0)}}$$

Anexo 2

Diseño de “Vivienda Tipo y Estimación de Daños”

El método de Daño Evitado en las propiedades residenciales debido a la ejecución de un proyecto de evacuación y drenaje de aguas lluvias, mide la diferencia entre los daños de una vivienda en las situaciones sin y con proyecto. Para su aplicación es necesario contar tanto con el valor de la infraestructura como del equipamiento de las viviendas existentes en el área de inundación. Con el objetivo de estandarizar esta medición se ideó el concepto de “vivienda tipo”, el cual recoge aspectos de la materialidad, tamaño y enseres típicos, todo lo cual se valoró a precios de mercado vigentes para obtener un valor promedio por vivienda.

En el siguiente punto se detalla el proceso realizado.

1. Configuración de la vivienda tipo

En primer lugar se creó el concepto de “vivienda tipo” la que constituye una vivienda representativa, es decir, recoge las características promedio de las viviendas a nivel nacional. Estas características promedios se refieren tanto a la infraestructura y mobiliario que contiene.

i. Materialidad

Para determinar la materialidad de la infraestructura de la “vivienda tipo” se utilizaron datos promedios a nivel nacional, los cuales se señalan a continuación.

- ✓ Superficie: Se estableció la superficie de la “vivienda tipo” de 61,25 m², la que se obtuvo de lo reportado en la encuesta CASEN (2011) optando por los tramos de mayor recurrencia, es decir, entre los rangos de 41-60 m² y 61-100 m².

	de 30 a 40 m ²	de 41 a 60 m ²	de 61 a 100 m ²	de 101 a 150 m ²	más de 150 m ²	no sabe
Nacional	20,57%	34,97%	23,55%	6,58%	3,05%	1,59%

La tabla siguiente muestra la superficie (m²) por componente de la casa.

Componente	Superficie de planta (m ²)
Living-comedor	12,5
Pasillo	3,15
Pieza 1	10,5
Suite	12,4
Baño 1	3,6
Pieza 2	10,5
Cocina	8,6
Total	61,25

- ✓ Pisos: Se obtuvo de los porcentajes indicados en la encuesta CASEN (2011) y se clasificaron de acuerdo a la susceptibilidad de daño a las inundaciones.

Pisos	Parquet	Cerámica	Alfombra	Baldosa	Radier	Enchapado	Tierra
composición	34,08%	50,01%	3,91%	4,29%	5,71%	1,61%	0,37%
¿Susceptible de daño por inundación?	si	no	si	no	no	si	si

Con respecto al parquet, para efectos de valoración se supuso que éste correspondía en un 50% a piso flotante.

La tabla siguiente muestra el resultado de multiplicar los porcentajes de predominancia de los tipos de piso por las superficies totales de la planta.

Tipo de piso	Superficie (m2)
Flotante	17,04%*61,25=10,44
Parquet	17,04%*61,25=10,44
Cerámica	50,01% *61,25=30,63
Alfombra	3,91%*61,25=2,39
Baldosa	4,29%*61,25=2,63
Radier	5,72%*61,25 =3,5
Enchapado	1,61%*61,25=0,99
Tierra	0,37%*61,25=0,23
Total	61,25

Los tipos de piso que presentan daño a inundaciones son: piso flotante, parquet y alfombra, mientras que radier, baldosa y cerámica no están considerados dentro del daño.

- ✓ Muros exteriores e interiores: Para el caso de los muros exteriores también se consultó la encuesta CASEN, como se muestra en la tabla a continuación.

Muro exterior	Hormigón armado	Albañilería (cemento o piedra)	Tabique forrado por ambas caras	Tabique sin foro interior	Adobe, barro u otro artesanal	Materiales precarios o desechos (cartón, latas, plásticos)
composición	13,08%	51,79%	29,43%	2,46%	3,16%	0,08%
¿Susceptible de daño por inundación?	no	no	no	Si	si	si

La superficie de los muros exteriores neta fue de 71,68 m², en donde se consideró una altura promedio de 2,5 m de muros, descontando las superficies que corresponden a

puertas y ventanas. Para los muros interiores, además se consideraron 2 capas de yeso cartón por cada muro.

Por su parte, la tabla siguiente muestra el resultado de multiplicar los porcentajes de predominancia de los tipos de muro exterior por las superficies totales de la planta.

Tipo de material muro	Superficie (m2)
Muro interior	93,19
Tabique madera volcanita P. (yeso cartón)	93,19
Muro exterior	71,68
Hormigón armado	13,08%*71,68=9,38
Albañilería (bloque de cemento, piedra o cemento)	51,79%*71,68=37,12
Tabique forrado por ambas caras	29,43%*71,68= 21,1
Tabique sin forro interior	2,46%*71,68=1,76
Adobe, barro, quincha, etc	3,16%*71,68=2,27
Materiales de desecho (cartón, latas, etc)	0,08%*71,68=0,057

ii. Valoración de los componentes de la vivienda tipo

Para valorar monetariamente cada uno de los componentes de la “vivienda tipo” se acudió a fuentes como Easy, Homecenter, Falabella, Ripley y París. Las cantidades y los precios son promedios de las distintas fuentes, sin IVA.

A continuación se presenta una tabla con los resultados obtenidos.

Componente	Cantidad (unidad/m2/m lineal)	Precio unitario (\$)	Total (M\$)
Camas de 1 1/2 plaza	2	\$ 103.633	\$ 207,27
Cama de 2 plazas	1	\$ 179.263	\$ 179,26
Veladores	4	\$ 21.560	\$ 86,24
Mesa y sillas de comedor	1	\$ 114.838	\$ 114,84
Living	1	\$ 183.466	\$ 183,47
Mesa de Centro	1	\$ 42.008	\$ 42,01
Mueble de cocina	1	\$ 140.048	\$ 140,05
Lavadora	1	\$ 165.268	\$ 165,27
Refrigerador	1	\$ 201.672	\$ 201,67
Cocina	1	\$ 134.445	\$ 134,45
Secadora de Ropa	1	\$ 142.849	\$ 142,85
Closet pieza grande	1	\$ 121.840	\$ 121,84
Closet pieza pequeña	2	\$ 58.815	\$ 117,63
Escritorio pieza	2	\$ 29.403	\$ 58,81
Mueble de TV	1	\$ 50.412	\$ 50,41
Librero	1	\$ 46.210	\$ 46,21
Mueble de computador	1	\$ 35.294	\$ 35,29
Puerta interior	7	\$ 18.815	\$ 131,71
Puerta acceso	2	\$ 94.109	\$ 188,22
Enchufes	10	\$ 3.604	\$ 36,04
Cableado	0,3	\$ 6.864	\$ 2,06
Piso flotante	4,8	\$ 30.797	\$ 147,3
Parquet madera	4,8	\$ 48.045	\$ 229,8
Alfombra	2,7	\$ 28.382	\$ 77,2
Pintura Muro Interior (al agua)	4,2	\$ 28.818	\$ 122,0
Pintura Muro Exterior (al agua)	2,4	\$ 28.818	\$ 69,5
Tabique Madera Volcanita P.	38,8	\$ 12.144	\$ 471,6
Hormigón Armado*			
Albañilería (bloque de cemento, piedra o concreto)*			
Cerámica*			
Tabique forrado por ambas caras*			
Tabique sin forro interior (madera u otro)	1,2	\$ 5.257	\$ 6,1

FUENTE: EVALUACIÓN SOCIAL SEGÚN NUEVA METODOLOGÍA DE BENEFICIOS DE DAÑO EVITADO DE INUNDACIONES, ANÁLISIS DE UN CASO: SISTEMA GAETE, VÍCTOR PEREZ DGOP 2015

* SE CUBICÓ EL COMPONENTE, PERO PARA EFECTOS DE LA EVALUACIÓN NO SE ESTIMÓ LA CANTIDAD REQUERIDA NI EL PRECIO, PORQUE SE CONSIDERA QUE NO ES SUSCEPTIBLE A DAÑO DURANTE LA INUNDACIÓN.

Los enchufes totales son 10, donde cada uno requiere de 1m y 3 fases (3 m lineales/enchufe).

El cálculo de instalación se consideró un adicional de 100% del costo sin factor de instalación, por concepto de mano de obra, además de un 30% del costo sin factor de instalación correspondiente a gastos generales.

Por consiguiente el factor de instalación es:

$$F.I= (1+100%)*(1+30%)=2,6 \text{ veces}$$

iii. Daño según altura de inundación

También se establecieron las alturas de inundación que producirían pérdidas parciales o totales a los componentes de la “vivienda tipo” como se muestra en la tabla.

Componente	Altura de inundación 1 (cm)	Porcentaje de daño 1	Altura de inundación 2 (cm)	Porcentaje de daño 2
Camas de 1 1/2 plaza	30	50%	60	100%
Cama de 2 plazas	30	50%	60	100%
Veladores	30	100%	-	-
Mesa y sillas de comedor	30	0%	60	80%
Living	30	100%	-	-
Mesa de Centro	30	0%	60	100%
Mueble de cocina	30	100%	-	-
Lavadora	30	100%	-	-
Refrigerador	30	100%	-	-
Cocina	30	0%	60	30%
Secadora de Ropa	30	100%	-	-
Closet pieza grande	30	100%	-	-
Closet pieza pequeña	30	100%	-	-
Escritorio pieza	30	0%	60	80%
Mueble de TV	30	100%	-	-
Librero	30	50%	60	100%
Mueble de computador	30	100%	-	-
Puerta interior	30	100%	-	-
Puerta acceso	30	30%	60	50%
Enchufes	30	0%	60	100%
Cableado	30	0%	60	100%
Piso flotante	20	100%	-	-
Parquet madera	20	100%	-	-
Cerámica	0	0%	-	-
Alfombra	20	100%	-	-
Pintura Muro Interior (al agua)	30	30%	60	100%

Pintura Muro Exterior (al agua)	30	30%	60	100%
Tabique Madera Volcanita P. (muro interior)	30	30%	60	100%
Hormigón Armado (muro exterior)	30	0%	60	0%
Albañilería (bloque de cemento, piedra o concreto)	30	0%	60	0%
Tabique forrado por ambas caras (madera, lata, u otro)	30	0%	60	0%
Tabique sin forro interior (madera u otro)	30	30%	60	100%

FUENTE: EVALUACIÓN SOCIAL SEGÚN NUEVA METODOLOGÍA DE BENEFICIOS DE DAÑO EVITADO DE INUNDACIONES, ANÁLISIS DE UN CASO: SISTEMA GAETE, VÍCTOR PEREZ DGOP 2015

Para los tipos de piso; flotante, parquet de madera y alfombra se consideró un porcentaje de daño del 100% a la mínima altura de inundación dentro de la vivienda.

Para calcular el daño por componente de la “vivienda tipo” se debe multiplicar el precio por el porcentaje de daño, lo que va a depender de la altura de inundación. El beneficio por daño evitado en las viviendas corresponderá a la sumatoria de los daños evitados de todos los componentes, el cual puede corresponder a uno de los 3 valores que se muestran en la siguiente tabla. Cabe destacar que la altura de inundación indicada es medida desde el nivel calle (entregada por el modelo de simulación), por lo tanto considera la altura de la solera (20 cm); es decir, si hay una altura de inundación de 30 ó 60 cm significa que dentro de la vivienda la altura de inundación será de 10 ó 40 cm respectivamente.

BENEFICIO ASIGNADO SEGÚN LA ALTURA SIMULADA

Altura (cm)	Beneficio (UF)	Daño
> 0 y ≤ 20	0	No hay problema de inundación al interior de la vivienda
> 20 y ≤ 30	15,8	Se inundan los pisos al interior de la vivienda
> 30 y ≤ 60	89,0	Se inundan los pisos y algunos enseres
> 60	127,8	Se inundan los pisos y enseres

Fuente: Mesas de trabajos con profesionales de DOH, DGOP y MDS