

# Metodología de Preparación y Evaluación de Proyectos de Defensas Fluviales

---

Noviembre 2018

**Departamento de Metodologías y Estudios**

División de Evaluación Social de Inversiones - Subsecretaría de Evaluación Social



El presente documento corresponde a una actualización de la metodología existente publicada el año 2013. Esta versión corresponde a un documento completo de trabajo concretado en noviembre de 2018 y puede sufrir modificaciones para ser mejorado en su fase de marcha blanca.

<b>Nombre Metodología</b>	Formulación y Evaluación de Proyectos de Defensas Fluviales		
<b>Sector</b>	Recursos Hídricos		
<b>Subsector</b>	Defensas Fluviales		
<b>Resumen</b>	<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 estimación de daños, la distribución de probabilidades y al diseño de la “vivienda tipo”, respectivamente.</p>		
<b>Proyectos a los que aplica</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Construcción, Ampliación y Reposición de sistemas de evacuación aguas lluvias.</li> </ul>		
<b>Marco Normativo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ley Orgánica del MOP, D.F.L N°850 del año 1997</li> <li>• Resolución DGOP 194 23 de junio de 2000</li> <li>• Resolución DGOP 333 31 de octubre de 2000</li> <li>• Ley N° 11.402 de 1954</li> <li>• Art. 1 y 6 de Ley 19.525</li> </ul>		
<b>Fuentes de los Principales Datos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manual de Drenaje Urbano DOH –MOP, 2013</li> <li>• Planes de Manejo de Cauces DOH</li> <li>• Metodología de Aguas Lluvia</li> <li>• Dirección General de Obras Públicas DGOP</li> </ul>		
<b>Principales Beneficios</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Beneficios por menor daño</li> <li>• Liberación de recursos</li> </ul>		
<b>Método Valorización Beneficios</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Daño Evitado</li> <li>• Precios Hedónicos</li> </ul>	<b>Horizonte de Evaluación (años)</b>	30
<b>Enfoque Evaluación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costo Beneficio / Costo Eficiencia (menores a MM\$200)</li> </ul>		
<b>Indicadores</b>	<i>Nombre Indicador</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Valor Actual Neto (VAN)</li> </ul>	
	<i>Criterio de Decisión</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alternativa de Mayor VAN positivo</li> </ul>	
	<i>Nombre Indicador</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costo Anual Equivalente (CAE)</li> </ul>	
	<i>Criterio de Decisión</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alternativa de Menor CAE</li> </ul>	

## FICHA RESUMEN

### Tabla de contenido

Ficha Resumen .....	2
Capítulo 1 .....	5
1.1    Introducción de la metodología.....	5
1.2    Marco Regulatorio e Institucionalidad del Sector.....	5
1.3    Marco Teórico y Obras de Defensas Fluviales .....	9
1.3.1    Cuencas Naturales, Urbanas y Periurbanas .....	9
1.3.2    Inundaciones y Remoción en Masa .....	10
1.3.3    Introducción a las Defensas Fluviales .....	12
1.3.4    Medidas de Mitigación.....	13
1.3.5    Tipos de Obras de Defensas Fluviales .....	15
1.4    Procesos Asociados a Proyectos de Defensas Fluviales .....	20
1.5    Ciclo de vida de los proyectos .....	21
Capítulo 2 .....	23
2.1    Formulación del Proyecto.....	23
2.2    Identificación del Problema .....	23
2.3    Diagnóstico de la Situación Actual .....	23
2.4    Análisis Hidrológico .....	23
2.5    Análisis Hidráulico.....	25
2.6    Área de influencia y población objetivo .....	28
2.7    Análisis del sistema actual de Defensas Fluviales-Oferta .....	28
2.8    Análisis de la Demanda actual y proyectada .....	29
2.9    Optimización de la Situación Actual .....	29
2.10    Balance Oferta-Demanda .....	30
2.11    Análisis de Alternativas .....	30
Capítulo 3 .....	30
3.1    Evaluación Social del Proyecto .....	30
3.2    Identificación de Beneficios .....	31
3.3    Métodos de valoración de los Beneficios.....	34
3.4    Estimación de los Beneficios Sociales.....	38

3.4.1	Cálculo del Beneficio Social .....	38
3.4.2	Beneficio por menor daño en propiedades residenciales.....	40
3.4.3	Beneficio por recuperación de terrenos baldíos anegadizos.....	41
3.4.4	Beneficio por menor daño en propiedades comerciales e industriales .....	42
3.4.5	Beneficio por evitar pérdida de producción en propiedades comerciales e industriales .....	43
3.4.6	Beneficio por menor daño en establecimientos públicos .....	43
3.4.7	Beneficio por evitar pérdida de producción en establecimientos públicos .....	43
3.4.8	Beneficio por disminución en pérdida de producción Agrícola – Ganadera.....	43
3.4.9	Beneficio por daño evitado en reparaciones de vehículos .....	44
3.4.10	Beneficio por menor deterioro de la infraestructura vial.....	44
3.4.11	Beneficio por disminución de los Costos Generalizados de Viaje (CGV) .....	46
3.4.12	Beneficio por menores gastos de emergencia y limpieza de vías, sumideros y calles	49
3.4.13	Beneficio por menor ausentismo laboral.....	50
3.4.14	Beneficio por menor ausentismo escolar .....	50
3.4.15	Liberación de recursos públicos salud.....	51
3.4.16	Liberación de recursos de la ONEMI en campañas de emergencia.....	52
3.5	Identificación de Costos.....	53
3.6	Complementos a considerar en la Evaluación Social de Proyectos.....	53
3.6.1	Corrección a precios sociales.....	53
3.6.2	Horizonte de Evaluación.....	54
3.6.3	Valor Residual .....	54
3.6.4	Tasa social de descuento .....	54
3.7	Cálculo de Indicadores y Criterios de Decisión.....	54
3.8	Indicadores Costo – Beneficio .....	54
3.8.1	Construcción de los flujos de Beneficios Netos .....	54
3.8.2	Valor Actual Neto (VAN) .....	55
3.8.3	Tasa Interna de Retorno (TIR) .....	56
3.8.4	Valor Anual Equivalente (VAE) .....	56
3.9	Indicadores Costo – Eficiencia .....	57
3.9.1	Construcción de los flujos de Costos Anuales .....	57
3.9.2	Valor Actual de los Costos (VAC).....	57

3.9.3	Costo Anual Equivalente (CAE).....	58
3.9.4	Costo anual equivalente por vivienda.....	58
3.10	Análisis de Riesgo.....	58
3.10.1	Fuentes de riesgo.....	58
3.11	Análisis de Sensibilidad.....	59
Anexo 1	.....	61
Anexo 2	.....	64
Anexo 3	.....	67

## CAPÍTULO 1

### 1.1 INTRODUCCIÓN DE LA METODOLOGÍA

La presente metodología establece los puntos necesarios que se deben considerar y tratar en la preparación, formulación y evaluación de proyectos de defensas fluviales en todo el territorio nacional. El objetivo principal es entregar un documento útil tanto para el formulador como para el evaluador de proyectos, de manera que a través del uso del mismo se puedan generar análisis acabados de la situación del proyecto y todos los componentes que en este participan. Todos los esfuerzos apuntan hacia generar iniciativas de inversión que hagan uso eficiente de los recursos públicos disponibles y aporten al mayor bienestar social.

Este es un instrumento de planificación territorial aplicable a los proyectos que cuenten o no con Planes de Manejo de Cauces o Planes Maestros, aportando antecedentes técnicos para la preparación de proyectos de defensas fluviales en tantas localidades de nuestro territorio como se haga necesario.

### 1.2 MARCO REGULATORIO E INSTITUCIONALIDAD DEL SECTOR

#### i. Ministerio de Obras Públicas (MOP):

- **Dirección General de Obras Públicas (DGOP):** De acuerdo al artículo 13 de la Ley Orgánica del MOP, D.F.L N°850 del año 1997, la Dirección General de Obras Públicas (DGOP) está conformada por los siguientes servicios:
  - Dirección de Planeamiento
  - Dirección de Arquitectura
  - Dirección de Obras Hidráulicas
  - Dirección de Vialidad
  - Dirección de Obras Portuarias
  - Dirección de Aeropuertos
  - Dirección de Contabilidad y Finanzas

Por otra parte, la letra a) del Artículo 14 de la Ley Orgánica del MOP establece que le corresponde a la Dirección General de Obras Públicas dirigir, coordinar y fiscalizar la labor de sus servicios dependientes y de aquellos que les encomienda la ley.

- **Dirección de Obras Hidráulicas (DOH):** La Ley Orgánica del MOP, D.F.L N°850 del año 1997, señala dentro de sus competencias el “Estudio, proyección construcción y

conservación de las obras de defensa de terrenos y poblaciones contra crecidas de corrientes de agua.

En virtud de las delegaciones establecidas mediante las resoluciones de la DGOP 194 (23 de junio de 2000) y 333 (31 de octubre de 2000), la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH) se encarga del estudio, proyección, construcción y conservación de las obras de defensas fluviales en terrenos y asentamientos poblacionales, protegiendo los anteriores contra crecidas y desborde de cauces, protegiendo riberas, normando, habilitando y prohibiendo las zonas para extracción de materiales áridos, cuyo permiso corresponde en primera instancia a las municipalidades, previo informe favorable de la DGOP.

Por otra parte, el Art. 96 de la Ley Orgánica del MOP establece que, previo los estudios pertinentes y conocimiento de los interesados, la DOH podrá ordenar la modificación o destrucción total o parcial de las obras de defensa o cualesquiera otra existente en las riberas o cauces de las corrientes naturales, si pusiesen en peligro inminente poblaciones, otros predios u obras importantes o dificulten la regularización del curso de las aguas. Si las obras realizadas por el Fisco se destruyen o inutilizan a causa de defectos de ejecución u ocasionan perjuicios a los ribereños, ellas deberán ser reconstruidas por el Fisco sin nuevo gravamen para los interesados.

Asimismo, le corresponde 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 los que dispone la Ley N° 11.402 de 1954, fijando el ámbito de competencia de la DOH en materias fluviales.

De acuerdo a la letra d), e) y g) del Artículo 3 de La Ley Orgánica del MOP, D.F.L N°850 del año 1997, le corresponde a la DOH la aplicación de las normas legales sobre defensas y regularización de riberas y cauces de los ríos, lagunas y esteros, que se realicen con aporte fiscal, la aplicación del Código de Aguas, y la aplicación de todas las demás intervenciones que el asignen intervención.

Por otra parte, el Art. 1° de la Ley N°19.525 que regula Sistemas de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias, señala que la planificación, estudio, proyección, construcción, reparación, mantención y mejoramiento de la red primaria de sistemas de evacuación y drenaje de aguas lluvias corresponderá al Ministerio de Obras Públicas. Para los efectos señalados en el artículo anterior, el Ministerio de Obras Públicas desarrollará **planes maestros**, en los cuales **se definirá lo que constituye la red primaria de sistemas de evacuación y drenaje de aguas lluvias**, los cuales serán aprobados por **decreto supremo** firmado por los Ministros de Obras Públicas y de la Vivienda y Urbanismo.

De acuerdo al Art. 6 de dicha ley, los planes maestros y la coordinación de las actividades que señalan los artículos anteriores deben considerar la situación de las cuencas hidrográficas, además de las acciones para evitar la erosión, y deforestación correspondientes. Más aún, el

Art. 97 de la Ley Orgánica MOP establece la prohibición de construir casas para viviendas y con mayor razón formar poblaciones en suelos periódicamente inundables, aun cuando la inundación se presente en periodo de hasta 10 años.

- **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, el drenaje y el control de cauces y riberas.

El MOP cumple a través de la DGA un rol preponderante al planificar, indicativamente, y formular las recomendaciones para el mejor aprovechamiento de las aguas. Además la DGA está a cargo de la constitución de los derechos de aprovechamiento, aprobación de la construcción e obras hidráulicas y de proporcionar y difundir la información generada por la red hidrométrica nacional y el catastro público de aguas, CPA. También juega un rol único relativo a velar por la no afectación de los derechos de agua constituidos y por la seguridad de las obras hidráulicas o modificaciones a los cauces naturales.

Adicionalmente participa en las autorizaciones de permisos sectoriales para la ejecución de obras, ya que los Artículos 41 y 171 del Código de Aguas señalan que los proyectos de aguas lluvias que afectan a la red natural, como los relacionados con modificación de cauces, las descargas de aguas lluvias a red natural, ya sea desde la red primaria o secundaria, con descargas iguales o mayores a 2 m<sup>3</sup>/s, las obras de defensas fluviales y las obras de contención aluvial. Similar requisito de autorización por parte de la DGA se aplica a las bocatomas, de acuerdo al Art. 151.

También el Art. 294 del Código de Aguas, señala que requerirán aprobación de Director General de Aguas las obras como los embalses de capacidad superior a cincuenta mil metros cúbicos o cuyo muro tenga más de 5m de altura; los acueductos que conduzcan más de dos metros cúbicos por segundo, los acueductos que conduzcan más de medio metro cúbico por segundo, que se proyecten próximos a zonas urbanas, y cuya distancia al extremo más cercano del límite urbano sea inferior a un kilómetro y la cota de fondo sea superior a 10 metros sobre la cota de dicho límite, y los sifones y canoas que crucen cauces naturales. Se indica además que quedan exceptuadas de cumplir los trámites y requisitos a que se refiere este artículo, los Servicios dependientes del Ministerio de Obras Públicas, los cuales deberán remitir los proyectos de obras a la Dirección General de Aguas, para su conocimiento, informe e inclusión en el Catastro Público de Aguas.

- ii. **Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU):** El artículo 2.1.5 del DS N°47 de 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: (1) Zonas inundables o potencialmente inundables,

debido entre otras causas a su ubicación próxima a lagos, ríos, esteros, quebradas naturales, canales, acequias y vertientes. (2) Zonas próximas a pendientes peligrosas, dado el riesgo a la probabilidad de eventos como avalanchas, rodadas, aluviones, aludes, erosiones y remoción en masa en general.

Por otra parte, el Artículo 1° de la Ley N°19.525, señala que la red secundaria estará a cargo del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, a quien le corresponderá directamente su planificación y estudio. Mientras que a través de los Servicios de Vivienda y Urbanización, le corresponderá la proyección, construcción, reparación y mantención de la misma.

En lo que respecta a la Planificación Territorial, la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (OGUC) establece que los instrumentos de planificación territorial (IPT) son los siguientes:

- Plan Regulador Intercomunal o Metropolitano (PRI O PRM)
- Plan Regulador Comunal (PRC)
- Plan Seccional (PS)
- Límite Urbano (LU)

Los IPT deben adaptarse a los requerimientos del territorio, pero no pierden vigencia si no se actualizan, aunque es recomendable que se actualicen cada 10 años. Tanto la Ley General de Urbanismo y Construcción como la Ley Orgánica de Municipalidades, establecen que las municipalidades tienen la función privativa para formular un PRC.

De acuerdo al artículo 29 de la Ley General de Urbanismo y Construcción (LGUC), la planificación urbana nacional le corresponde al Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU), la planificación urbana regional e intercomunal le corresponde al SEREMI MINVU, de acuerdo a los art. 32 y 36 de la LGUC, y la planificación urbana comunal le corresponde al municipio de acuerdo al art. 48 de la LGUC.

- 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 (MDS):** Como administrador del Sistema Nacional de Inversiones, tiene las funciones relativas a la evaluación y aprobación técnico-económica de los proyectos de construcción de defensas fluviales que solicitan recursos para su ejecución.
- v. **Ministerio de Salud (MINSAL):** De acuerdo con el Código Sanitario, los Servicios de Salud tienen atribuciones para fiscalizar acciones que pudiesen 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 (MMA):** 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 defensas fluviales, se debe entregar una 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: (1) Administración de los bienes nacionales de uso público, categoría que tienen los cauces naturales; (2) Otorgamiento de los permisos para la extracción de áridos bajo supervisión técnica de la DOH; (3) Funciones de limpieza en sumideros y cámaras en épocas de lluvia, a través de cuadrillas de aseo.

### 1.3 MARCO TEÓRICO Y OBRAS DE DEFENSAS FLUVIALES

#### 1.3.1 CUENCAS NATURALES, URBANAS Y PERIURBANAS

Las cuencas, por definición, corresponden a las zonas de la superficie terrestre que recolectan las aguas que precipitan sobre ellas y las conducen a un punto de salida. Existen tres tipos de cuencas para el drenaje urbano de aguas lluvias. Por una parte, están las que corresponden a superficies no urbanas o cuencas naturales, mientras que en el otro extremo están las cuencas netamente urbanas. Entre ambos tipos hoy en día se reconoce la existencia de cuencas periurbanas, que rodean a las grandes ciudades y tienen elementos urbanos, pero aún un comportamiento mayoritariamente natural. (DICTUC, 2013)

Las **cuencas naturales** corresponden a superficies con muy poca o nula intervención urbana que eventualmente pueden drenar hacia los centros poblados a través de cauces importantes que pasan por ellos o por sus bordes. Dichas cuencas pueden contar con pequeños territorios urbanos, cuyos efectos en la hidrología se consideran despreciables. Estas cuencas provocan inundaciones fluviales, cuyos efectos pueden ser minimizados actuando sobre las zonas de inundación en los centros poblados, implementando obras de defensa o promoviendo una planificación urbana adecuada. (DICTUC, 2013)

Las **cuencas urbanas** son aquellas en las que toda la superficie de la cuenca se encuentra urbanizada o pertenece al área urbana. En general son cuencas de menor tamaño, en las que se puede influir mediante el tratamiento, captación, detención, almacenamiento de las aguas lluvias antes que lleguen a los cauces. Estas cuencas provocan inundaciones pluviales, en las que las aguas lluvias que precipitan sobre la zona urbana escurren hacia aguas abajo desde las

propiedades particulares, a las calles y terrenos públicos y después hacia los cauces. Dado que la escorrentía se produce dentro de la cuenca, el control de ésta se debe ejercer en todas las componentes del sistema de drenaje, es decir, las redes domiciliarias, secundarias y primarias. (DICTUC, 2013)

Las **cuencas periurbanas** contienen elementos de urbanización y/o infraestructura como carreteras, vías de comunicación y esparcimiento importantes que afectan el drenaje, pero aún conservan terrenos rurales, agrícolas o naturales, en rápida evolución. Estas cuencas generalmente tienen cauces con crecidas fluviales, y también sectores que aportan crecidas pluviales. En estas cuencas es relevante la regulación del uso del suelo en las nuevas urbanizaciones, y contar con un plan de drenaje que oriente el desarrollo previo a la urbanización. (DICTUC, 2013)

### 1.3.2 INUNDACIONES Y REMOCIÓN EN MASA

Las inundaciones se refieren al proceso natural en el que el agua cubre terrenos planos o depresiones habitualmente secos, principalmente por precipitaciones intensas, desbordamiento de ríos, marejadas y/o maremotos, fusión rápida de nieve o hielo, rompimiento de diques o represas, o la conjunción de dos o más de estos fenómenos. (DICTUC, 2013)

En las zonas urbanas las inundaciones tienen efectos adversos en la medida en que afectan a las personas, sus bienes o la infraestructura urbana. Los fenómenos más masivos ocurren en las zonas inundables cuando ellas están ocupadas por la urbanización y los ríos se ven afectados por grandes crecidas, generando la inundación de zonas extensas, con velocidades bajas y alturas de agua que pueden ser relevantes. También en las riberas de quebradas y esteros que entran a la zona urbana con pendiente importante, y muchas veces no disponen de un cauce adecuado, generándose aluviones, flujos con gran poder erosivo y arrastre de sedimentos, de alta velocidad y mucho poder destructivo. Otro tipo corresponde a las inundaciones de sectores bajos que reciben aguas drenadas desde otras zonas y no disponen de una red de drenaje adecuado, que son inundaciones urbanas propiamente tales, con efectos sobre el funcionamiento de la ciudad y la infraestructura urbana.

Finalmente, otro caso importante es el rebase de colectores por incapacidad de descarga en que se provoca la inundación de viviendas por reflujos del sistema de drenaje. Las causas, efectos y soluciones para cada uno de los tipos de inundaciones mencionadas son diferentes, por lo tanto, en la evaluación de las condiciones existentes y que se pretende mejorar es indispensable conocer cada una de ellas. (DICTUC, 2013)

Para una evaluación correcta de la situación existente es importante recopilar la mayor cantidad de información histórica sobre inundaciones pasadas, incluyendo niveles y extensión de la inundación, viviendas afectadas, problemas en el sistema de drenaje, acciones de emergencia y participación de servicios de salud, ONEMI, bomberos, municipios, empresas y servicios sanitarios. Esta información debiera incluir lo informado por medios de comunicación, así como los registros en municipios, instituciones y empresas. (DICTUC, 2013)

Algunas causas que desencadenan **fenómenos de inundación** son los siguientes:

**-Deshielos:** el derretimiento de la nieve o hielos acumulados que se produce con los primeros meses de primavera, aumentan el escurrimiento de los cauces.

**-Precipitaciones intensas:** existen precipitaciones poco frecuentes que saturan rápidamente el suelo y producen gran cantidad de escorrentía superficial que aumenta el volumen en los ríos, generando crecidas.

**-Impermeabilización:** El aumento de las áreas impermeables en una cuenca aumenta la escorrentía superficial, generando aumentos en los caudales de los cauces y posibles inundaciones.

**-Deforestación:** la tala de árboles, arbustos y la desaparición de la vegetación en general provocan la disminución de fenómenos de abstracción al desaparecer un área que favorecía la evapotranspiración o el almacenamiento superficial, lo que incrementa los niveles de escorrentía superficial y, por ende, los caudales de cauces.

**-Rompiendo de presas:** la rotura de diques o represas que almacenan grandes cantidades de agua, o su vaciamiento rápido, producen un aumento elevado de los niveles de los cauces de forma repentina, siendo una de las causas de muerte más común por inundaciones.

**-Ocupación de cauces:** la ocupación humana de cauces que disminuyen el área efectiva por la que circula el agua, genera un incremento de los niveles de escurrimiento pudiendo provocar inundaciones.

**-Saturación de la napa subterránea:** cuando se altera el uso de los suelos en un área dada de manera que se infiltra mucha más agua que la que el suelo es capaz de retener, la napa freática sube pudiendo llegar a la superficie misma ocasionando inundaciones.

**El fenómeno de remoción en masa** corresponde al proceso, lento o rápido, de movilización descendente de una porción de terreno constituido por roca y/o suelo, por efecto de la gravedad, donde el volumen de material se desplaza hasta una cota o nivel inferior al original (Hauser, 2002). El proceso de remoción en masa se asocia a la interacción de una serie de factores geográficos, climáticos, hidrológicos, geológicos y tectónicos (Hauser, 1993), entre los cuales se distinguen factores condicionantes, los cuales generan una situación potencialmente inestable, y factores gatillantes, factores externos que ayudan a desencadenar el proceso. Este fenómeno puede ser clasificado según el mecanismo de ruptura, los tipos de material involucrados, el grado de saturación que se alcanza, etc. Estos fenómenos generalmente provocan un gran deterioro en el relieve del lugar, comprometiendo el paisaje, la vegetación y el suelo. La aparición de un hecho puntual de remoción en masa constituye el punto de partida para el desarrollo de posteriores eventos del mismo tipo, habitualmente de mayor alcance. (DICTUC, 2013)

Existen ciertos factores que condicionan la ocurrencia de la remoción en masa, tales como la geomorfología, geología y geotecnia, hidrología e hidrogeología, clima, vegetación, y factores

antrópicos. Por otra parte, existen factores externos que generan una remoción en masa mediante el rápido incremento de esfuerzos o la reducción de la resistencia del material de una ladera (Lara, 2007), siendo principalmente sismos y lluvias de gran intensidad (debido a la relación entre intensidad, duración y distribución de las precipitaciones), los cuales ocurren generalmente durante un corto periodo, aunque precipitaciones de baja intensidad pero durante periodos más largos también podrían ser desencadenantes. (DICTUC, 2013)

El mecanismo capaz de generar estas remociones se asocia a un aumento del grado de saturación de los materiales y a un aumento en la presión del agua de poros, disminuyendo la resistencia de los materiales, producto ya sea de un incremento en la presión en los poros (debido a infiltración, percolación y/o aumento de la napa freática), y/o de un incremento de la escorrentía superficial producto de lluvias intensas, aumentando la erosión en laderas con material suelto o desagregado. (DICTUC, 2013)

Las principales categorías de clasificación de los procesos de remoción en masa son desprendimientos o caídas, deslizamientos, flujos, toppling o volcamientos, y extensiones laterales (Lara, 2007).

### 1.3.3 INTRODUCCIÓN A LAS DEFENSAS FLUVIALES

Nuestro país cuenta con una red hidrológica de basta complejidad y establecida a lo largo de todo el territorio, originándose distintas y diversas fuentes de cauces naturales que nutren el paisaje. Por lo mismo, las inundaciones son un evento recurrente dependiendo de la ubicación geográfica en que nos encontremos. Estas crecidas cuentan con cierta periodicidad en sus eventos y periodos de retorno asociada a ellas, sin embargo, para que estos eventos ocurran, se deben conjugar uno o una serie de factores que aportan al suceso. En particular, para que ocurran desbordamientos o excesos de cauces, se pueden conjugar individual o simultáneamente eventos fluviales (lluvias, precipitaciones), eventos fluviales de origen nival (caída o desprendimiento de nieve en ladera), eventos de remoción (material pesado de laderas o quebradas) o combinaciones de los anteriormente mencionados.

Estos sucesos sobrepasan la capacidad de absorción y del suelo y la capacidad de carga de los ríos, haciendo que el curso normal del mismo rebalse su cauce natural e inunde las tierras adyacentes a sus llanuras, terrenos que muchas veces son asentamientos de población y de uso agrícola, presentando por ende áreas de peligro para el desarrollo de las actividades relativas a los usos de suelos.

Desde el punto de vista geomorfológico, la frecuencia de las inundaciones depende del clima, el material de las riberas del río y la pendiente en sus distintos puntos. Cuando hay eventos de precipitaciones de determinadas magnitudes o duración dependientes de la estación, las llanuras inundables pueden abarcar grandes extensiones territoriales aun cuando existan pendientes no pronunciadas. En las regiones de nuestro país que no cuentan con extensos periodos de temperatura bajo los cero grados, las inundaciones por lo general ocurren en los periodos de mayor precipitación (no siendo el único factor que se conjuga, como se señaló con

anterioridad). Por su parte, cuando el mayor número de inundaciones en ciertos sectores son resultado del deshielo, estas se generan en épocas primaverales o principio del verano.

Los eventos de exceso de caudal que origina un desborde de río o corrientes de agua con su posterior consecuencia de inundación, se describen en términos estadísticos mediante el concepto de **periodo de retorno**. Este proporciona una medida temporal de periodo de recurrencia de excesos en caudales expresados en años, considerando implícitamente en su modelación los factores que influyen. Esta modelación otorga el dimensionamiento de zonas susceptibles inundables aledañas al flujo de agua, como consecuencia del aumento de caudal para un periodo de retorno asignado.

Para el correcto desarrollo y análisis de las obras de defensas fluviales, las llanuras de inundación asociadas al flujo de agua deben contar con una modelación cartográfica, complementándose en su posterior uso con programas de modelamiento hidráulico, con el fin de identificar y detallar las áreas donde el riesgo de inundación es significativo y se pudiesen atribuir beneficios a las obras de defensas fluviales.

Los factores de riesgo contienen otras componentes que se recogen en estos modelamientos; de ellos se destacan tres: peligrosidad, exposición y vulnerabilidad. El primero hace referencia al conjunto de características que hacen más peligroso a un fenómeno potencialmente dañino. De ella, se tienen dos componentes: la intensidad y la probabilidad, cuya relación es inversa. Por su parte, la exposición es el conjunto de personas, bienes o infraestructura potencialmente expuestos a la acción de un peligro. Finalmente, la vulnerabilidad responde a la magnitud de las pérdidas que puede producir un peligro de una determinada intensidad.

Las obras de defensas fluviales adquieren vital importancia cuando existen asentamientos humanos aledaños al cauce, expuestos a potenciales peligros de desborde, con sus pérdidas correspondientes asociadas a estos tipos de eventos. Por lo tanto, es su esencia, este tipo de obras tienen por finalidad dirigir o regularizar la corriente de un cauce con el objetivo de proteger las estructuras implantadas en él, o bien defender sus riberas y planicies adyacentes donde existan asentamientos humanos, terrenos agrícolas, instalaciones comerciales, instalaciones industriales o de cualquier otro tipo que pudiesen ser dañadas por el agua o la crecida.

### 1.3.4 MEDIDAS DE MITIGACIÓN

#### 1.3.4.1 MEDIDAS NO ESTRUCTURALES

Corresponden a acciones destinadas a impedir o reducir los daños producto de inundaciones por crecidas de caudal. Estas no actúan sobre el flujo de agua, por lo que no altera sus características hidrológicas e hidráulicas, más bien busca impedir o reducir los daños producidos por las inundaciones con acciones planificadoras, entre las que se destacan:

- **Planificación Territorial Urbana:** nuestro territorio posee una extensa red hidrológica donde los cauces naturales han quedado intervenidos, tapados o entubados para ser urbanizados. Esto genera problemas en los tiempos posteriores, por lo que es necesario

generar Planes Reguladores que identifiquen aquellas zonas asociadas a inundaciones, remociones en masa o lahares. Se requiere hacer vinculante el resultado de los estudios técnicos con la Planificación Territorial.

- **Planes de Manejo de Cauces:** estos planes estudian el comportamiento hidráulico de cauces para diferentes eventos de crecidas, identificando medidas y sustentando a otras que fomenten el uso apropiado del cauce y de los suelos susceptibles a ser inundados y/o erosionados, propiciando la coordinación institucional y con la comunidad de modo de compatibilizar los riesgos asociados a crecidas con los distintos usuarios, usos del cauce y cuidado ambiental. Estos planes nombrados no son vinculantes necesariamente para la Planificación Territorial.
- **Institucionalidad:** Es necesario contar con conceptos o definiciones de los eventos relacionados en nuestra legislación. Actualmente el concepto de “quebrada” no está bien definido en cuanto a su rol en el territorio y su importancia para la cuenta que la contiene. Además no existe una política de protección, conservación y regulación de las quebradas que incorpore un enfoque territorial a la escala de cuenca que pertenecen, de las áreas naturales que las componen y de su relación con los asentamientos.
- **Disposición de mayor espacio fluvial para cauces y quebradas:** Medidas que tienen como fin disminuir las ocupaciones que incrementan el riesgo y con ello la vulnerabilidad de la población asentada próxima. La medida adoptada por los países desarrollados es otorgar a los cauces su espacio fluvial natural, considerándose la medida más eficiente para resguardar el equilibrio sedimentológico del borde costero y la estructura fluvial en su totalidad.
- **Empleo y consideración de Mapas de Riesgo:** estos clasifican o dividen el territorio en función de la categoría de los riesgos identificados, lo cual sirve de base para implementar medidas como la planificación territorial, sistemas de alerta y planes de emergencia.
- Empleo de sistemas de prevención, alarma y planes de emergencia: estos sistemas permiten predecir el desbordamiento de un cauce en un punto de control en base a los datos obtenidos de instrumentos (ej: Red Hidrometeorológica Nacional). Los sistemas de Alarma por su parte, son dispositivos que permiten avisar a la población del riesgo. Finalmente, los planes de emergencia corresponden a directrices de planificación de la protección civil ONEMI.

#### 1.3.4.2 MEDIDAS ESTRUCTURALES

Corresponden a acciones destinadas a interferir directamente en los mecanismos de crecidas y desbordes de flujos de agua. Estas contemplan obras en distintas dimensiones a nivel de ribera, lecho, cauce o cuenca. Se destacan de ellas:

- **Limpieza y rectificación de cauce:** este tipo de obras es ampliamente utilizada en el territorio debido a su relativa rapidez y simpleza, no utilizándose tantos insumos para su realización. Se limpia el cauce generalmente mediante maquinaria pesada y se rectifica el mismo a través del movimiento de tierra con los materiales disponibles en él.
- **Obras de canalización:** en estas obras se interviene el cauce de agua a una mayor escala, definiendo artificialmente los bordes del mismo mediante obras en hormigón, rocas o similar.
- **Obras de Abovedamiento:** destinadas a contener el caudal en una pieza generalmente de hormigón, ocultando la obra a la vista.
- **Obras de contención y construcción de defensas fluviales:** estas abarcan las anteriores y las derivadas de las mismas, utilizando otra materialidad y otras obras ingenieriles.

### 1.3.5 TIPOS DE OBRAS DE DEFENSAS FLUVIALES

#### 1.3.5.1 DEFENSAS LONGITUDINALES

Este tipo de obras permiten dar estabilidad a la ribera y evitar inundaciones producto de la excedencia del cauce. No interfieren en el escurrimiento natural del río puesto que se construyen a lo largo de la ribera, apoyándose sobre el lecho y el talud, presentando un permanente contacto con la orilla fluvial. Este tipo de defensas también son utilizadas en menor grado para encauzar un río o estero de manera de mejorar las condiciones locales de escurrimiento en algún punto en particular.

Estos pueden ser muros de tierra protegidos, muros de concreto, tablestacados y otros sistemas para los que son necesarios resolver el problema de diseñar una cimentación adecuada dependiente de las profundidades de erosión que tenga el lecho del flujo de agua. Para el caso del **tablestacado**, generalmente está construido de acero o madera, cumpliéndose la condición de contar con un lecho fino (arcilloso, arenoso), de manera que las planchas se puedan hinchar en el terreno.

**FIGURA 1. TABLESTACADO RÍO LAS MINAS**

Los tipos de defensas longitudinales en particular, se diseñan de manera de no reducir el área hidráulica original o área del cauce primario, sin embargo, en casos con cauces cuyas riberas sean poco definidas, el trazado de defensa longitudinal debe ser avalado por un estudio hidráulico y mecánico fluvial, de manera que la reducción del área de escurrimiento no provoque descensos excesivos o socavación en el nivel de lecho producto del aumento de las velocidades de flujo.

Dentro de este tipo de defensas, encontramos los ampliamente utilizados **enrocados**. Estos tienen la característica de poder instalarse y repararse con relativa facilidad. Aportan a la imagen uniforme debido a su apariencia natural y a su construcción basada en rocas muchas veces aledañas al sector que se construye, sin embargo, si ese no es el caso, pueden resultar obras bastante costosas debido principalmente al transporte. En su ingeniería, las mejores rocas son las angulosas, propiciando un correcto anclaje y trabazón entre ellas.

**FIGURA 2. ENROCADO RÍO CHOAPA**

Existe otro tipo de obras ampliamente utilizado en nuestro país, debido a la estructura con la cual se forma, los **gaviones**. Estos son bolones de roca que se encuentran de forma abundante en ríos a lo largo del Chile, enmallados y encajonados en estructuras metálicas, generalmente acero. Su uso no es exclusivo de defensa fluvial longitudinal, también puede ser utilizado como defensa transversal o en las zonas marítimas, esta última con especial cuidado de su durabilidad en ambiente corrosivo. Se busca rellenar los bloques con material existente en el mismo lugar o en las cercanías, también se puede revestir la estructura con material para evitar los posibles efectos corrosivos, pudiendo restarle ventajas tanto económicas como técnicas a la solución.

**FIGURA 3.** GAVIONES EN RÍO SAN PEDRO



Existen también otro tipo de obras que tienen trabajos de ingeniería distintos, utilizando otras materialidades y técnicas que sirven para lograr su objetivo. En estas clasificaciones podemos encontrar las canalizaciones de río con hormigón o mampostería, rectificaciones de cauce con maquinaria pesada bulldozer y abovedamiento de canales con revestimiento completo de hormigón.

**FIGURA 4. CANALIZACIÓN ZANJÓN DE LA AGUADA**



**FIGURA 5. MAMPOSTERÍA DE PIEDRA RÍO MAPOCHO**



**FIGURA 6.** ENCAUZAMIENTO RÍO MAULE CON MAQUINARIA PESADA**FIGURA 7.** ABOVEDAMIENTO CANAL ROMERAL

### 1.3.5.2 DEFENSAS TRANSVERSALES

Son estructuras emergentes desde las orillas del cauce hacia el interior de la corriente, los cuales usualmente forman ángulos cercanos a los  $90^\circ$  con la dirección principal de escurrimiento del flujo. Las defensas utilizadas en esta categoría son los **espigones**, estructuras que pueden estar orientadas a lo largo del flujo de agua, tanto aguas abajo como aguas arriba. Tienen por objetivo proteger de la erosión los bordes o riberas del cauce, alejando el escurrimiento principal de las orillas y recuperando terrenos por sedimentación del cauce en las zonas entre obras. Dentro de sus funciones, tienen por utilidad el reducir la velocidad de la corriente cerca de la orilla o bien desviar la corriente, estabilizando el cauce fluvial, controlando

la migración de meandros, creando el efecto de curva en una bocatoma y contribuyendo a establecer y mantener un margen de ancho fijado para el río.

**Figura 8.** Espigones en río Tirúa



#### 1.4 PROCESOS ASOCIADOS A PROYECTOS DE DEFENSAS FLUVIALES

El Sistema Nacional de Inversiones define una serie de procesos diferentes asociados a un proyecto según la actividad principal que se realizará. En el marco de las Defensas Fluviales, los procesos que pueden integrar estas obras se caracterizan como:

- a. **Proyectos de Construcción:** son acciones que corresponden a la materialización de un servicio que es inexistente a la fecha. Estos proyectos consisten en entregar una solución ante el problema de desborde o exceso de caudal por flujos fluviales, en sectores que carecen de defensas, por lo que implica inherentemente la ejecución de obras nuevas.
- b. **Proyectos de Ampliación de la Oferta:** son acciones que tienen por objetivo aumentar la capacidad de un servicio. Para el caso aplicado a defensas fluviales, consistiría en agregar un enrocado por ejemplo, en una ribera que actualmente con contase con una parte cubierta, pero buscándose finalmente incrementar la superficie protegida por la obra.
- c. **Proyectos de Mejoramiento:** tienen por objeto el aumentar la calidad de un servicio existente, aplicado a defensas fluviales, esto correspondería a mejorar el nivel de protección de ribera colocando mejores rocas y anclaje por ejemplo, a las obras de enrocado realizadas con anterioridad, lo que permitiría aumentar la capacidad de la misma.
- d. **Proyectos de Reposición:** estos proyectos implican la renovación parcial o total de una obra de defensa fluvial ya existente que se ha visto deteriorada por su uso constante o bien algún factor externo no previsible. Estas obras de reposición pueden ir (o no) acompañadas de cambio de capacidad y/o calidad en la misma.

## 1.5 CICLO DE VIDA DE LOS PROYECTOS

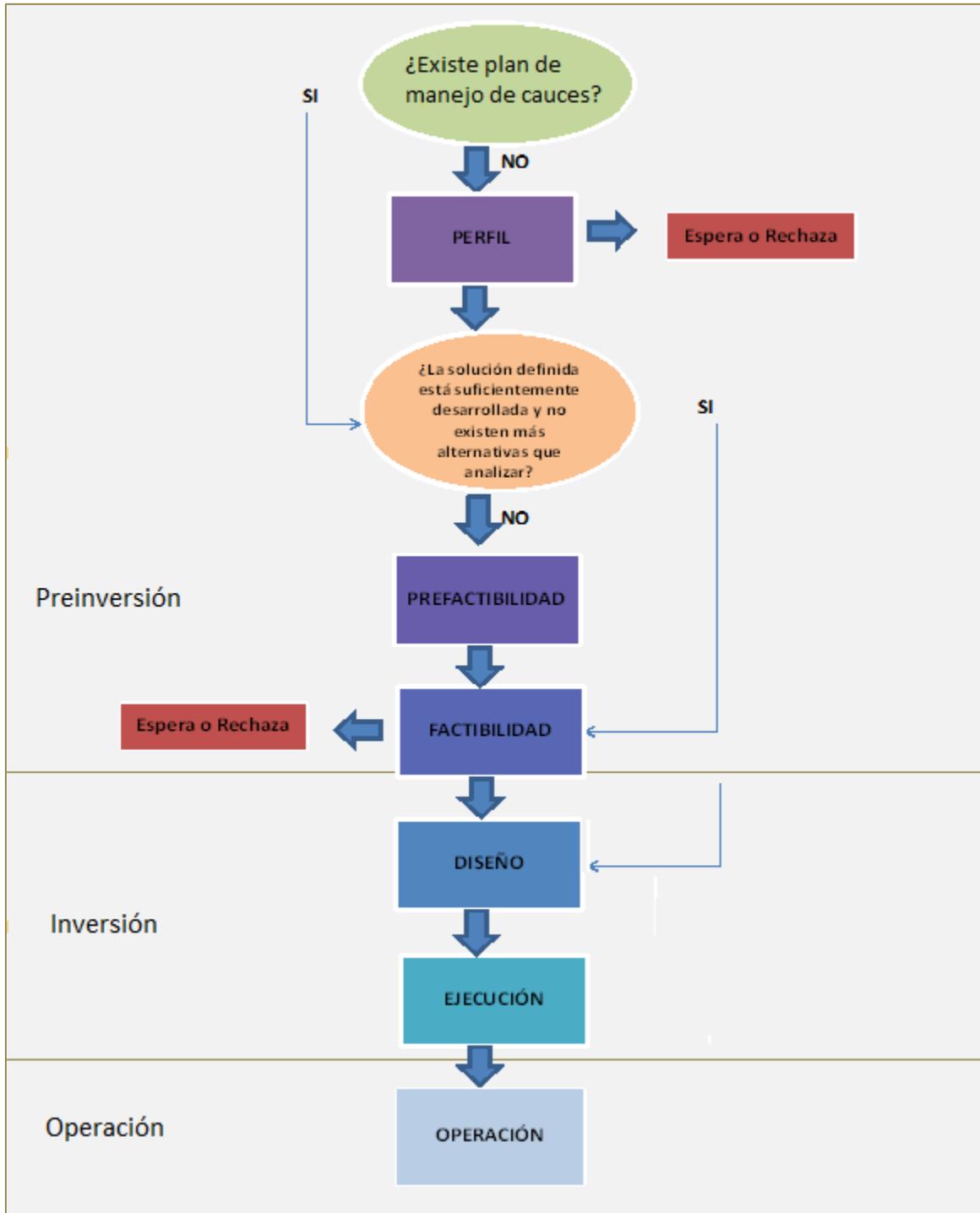
En el ciclo de vida de los proyectos de defensas fluviales, así como también en los otros sectores, se pueden distinguir las fases de preinversión, inversión y operación.

En particular, la Dirección de Obras Hidráulicas del MOP desarrolla varios tipos de estudios en conjunto con sus obras en los cauces naturales en nuestro país. Uno de los más importantes es el Plan de Manejo de Cauces, el cual son estudios que consideran aspectos hidrológicos, hidráulicos y de mecánica fluvial, identificando zonas de riesgo ante eventualidades, y con ello el requerimiento de obras fluviales, así como también estos planes otorgan información de las zonas aptas para la extracción de áridos y otros aspectos relacionados con el flujo del cauce. Actualmente existen 21 Planes de Manejo ya desarrollados en los principales cauces naturales del país, mientras que se continúan estudios en el mismo ámbito en los ríos Elqui y Choapa.

- 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. Por lo general, las etapas de Idea y Perfil del proyecto son desarrolladas por las unidades técnicas responsables. Posteriormente, 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 justificación de la alternativa seleccionada. En la etapa de factibilidad se debe dar cuenta de lo anterior con mayor desarrollo (cuando sea necesario), además de los antecedentes de los Planes de Manejo de Cauces como respaldo justificativo y conveniencia de la inversión, conjuntamente con certificados de aprobación de la Dirección de Obras Hidráulicas y/o Dirección General de Obras Públicas.
- b. **Inversión:** en esta fase están contenidas las etapas de Diseño y Ejecución. El primero consiste en la elaboración de la ingeniería de detalle que se contiene en un Informe de Diseño. En el caso de Defensas Fluviales, debido a la complejidad de las obras, en general estos diseños son encargados a consultoras especializadas en proyectos hidráulicos, sin embargo, deben contar con la aprobación de la unidad técnica competente (DOH). Se obtienen también en esta etapa los terrenos y servidumbres que sean necesarias en conjunto con las aprobaciones técnicas que se requieran para postular a la siguiente etapa: Ejecución. Esta contiene la construcción de la obra previamente definida en las etapas anteriores, conjunto que finalmente busca dar una solución al problema detectado en el diagnóstico.
- c. **Operación:** En esta fase comienza la puesta en marcha del proyecto, correspondiendo con esto la generación de los beneficios y los costos de operación y mantención esperados. Después de un periodo de funcionamiento del proyecto, corresponde realizar los estudios de evaluación ex post, destinados a analizar el cumplimiento de las proyecciones, como la

demanda, costos operacionales, entre otras. A partir de las conclusiones, se pueden formular acciones tendientes a corregir eventuales deficiencias técnicas y/o de gestión, con el fin de inducir mejoras en la formulación y evaluación de futuros proyectos.

**FIGURA 9.** CICLO DE VIDA DE LOS PROYECTOS DE DEFENSAS FLUVIALES



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

## **CAPÍTULO 2**

### **2.1 FORMULACIÓN DEL PROYECTO**

En la formulación de los proyectos de Defensas Fluviales, se deben conjugar fuentes informativas de distintos organismos. De ellos, las principales provienen de la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH) correspondiente a la región, Servicio de Vivienda y Urbanismo (SERVIU), el municipio, habitantes de la localidad de estudio afectados al proyecto y cualquier otra fuente relacionada que provea de información útil para el desarrollo de los estudios.

El proyecto debe contener en su preparación la siguiente pauta general.

### **2.2 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA**

Se debe identificar claramente el problema central del cual se adolece. Este debe ser formulado como un estado negativo de la situación y no como una ausencia de la infraestructura. De esta manera, se puede determinar óptimamente la solución a adoptar, limitando el análisis de alternativas y optimizando de mejor manera.

Es conveniente también identificar las causas y los efectos que conllevan el problema anteriormente detectado. De esta manera, al estudiar las causas que lo generan, es posible identificar alternativas de solución que permitirán resolverlo, evitando los problemas generados y visibilizando los beneficios del proyecto.

### **2.3 DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL**

El objetivo del diagnóstico es, en base a los conocimientos técnicos, identificar y establecer la magnitud del problema, la población afectada y su crecimiento esperado. Se debe también describir el área de influencia y la forma actual en que se presenta el problema, definiendo la oferta actual, la demanda esperada en el horizonte de evaluación y la estimación del déficit actual y proyectado. Lo anterior, queda detallado en los puntos posteriores.

### **2.4 ANÁLISIS HIDROLÓGICO**

El ciclo hidrológico no tiene principio ni fin, y sus diversos procesos ocurren en forma continua: el agua se evapora desde los océanos y desde la superficie terrestre para volverse parte de la atmósfera; el vapor de agua se transforma y se eleva en la atmósfera hasta que se condensa y precipita sobre la superficie terrestre o los océanos; el agua precipitada puede ser interceptada por la vegetación, convertirse en flujo superficial sobre el suelo, infiltrarse en él, correr a través del suelo como flujo subsuperficial y descargar en los ríos como escorrentía superficial. La mayor parte del agua interceptada y de escorrentía superficial regresa a la atmósfera mediante la evaporación, mientras que el agua infiltrada puede percolar profundamente para recargar

el agua subterránea de donde emerge en manantiales o se desliza hacia ríos para formar la escorrentía superficial, y finalmente fluye hacia el mar o se evapora en la atmósfera a medida que el ciclo hidrológico continua. (Chow, 1994)

El estudio hidrológico es crucial en el modelamiento de este tipo de proyectos, ya que determinará el caudal de diseño del río en cuestión, lo cual es clave para obtener las alturas de escurrimiento y el posterior dimensionamiento de las obras. Adicionalmente, este puede manejar hipótesis que ofrezcan un cierto grado de resguardo ante eventos climáticos extremos (cambio climático, por ejemplo).

Es un estudio básico de planificación que considera diversas dimensiones y fuentes de información, se destacan entre ellas la topografía, geomorfología, cartografía, información histórica, recopilación bibliográfica, opiniones de expertos, información aportada por los vecinos y organizaciones comunitarias de la zona de estudio, entre otros.

En el modelo hidrológico, se representa la **cuenca hidrográfica**. Mediante metodologías basadas en modelos matemáticos, es posible representar los caudales asociados a crecidas de ciertos periodos de retorno. Este concepto nos indica la periodicidad de un evento, en nuestro caso, crecida de caudal (desborde), asociado a una probabilidad de ocurrencia medida en años. En otras palabras, se deben modelar eventos de crecidas de caudal cada 5, 10, 20, 50, 100 y 200 años, teniendo el conocimiento teórico que mientras mayor sea el periodo de retorno, más catastrófico será el evento, pero a su vez, menor probabilidad de ocurrencia tendrá.

El resultado esperado obtenido será el hidrograma de crecida del río o fuente fluvial estudiada. La precisión del modelo se funda únicamente en la calidad de la información de entrada y la pertinencia de las metodologías de determinación de caudales.

En la presente metodología se hace énfasis al análisis del modelo utilizando datos de crecidas de caudales. Esto ocurre porque una crecida anormal de río se puede explicar por diversos factores, como deshielo de cordillera, remoción de materia, adición de otro flujo de agua, lluvias intensas, entre otros. Sin embargo, si es que no existieran datos de caudales en el área de estudio, sería necesario estimarlos mediante información pluviométrica de la cuenca: obteniendo precipitaciones, ajustando los modelos probabilísticos, escogiendo la mejor distribución de probabilidad y determinando finalmente (en conjunto con más pasos y métodos de estimación y ajuste), el caudal de diseño.

Las fuentes de información pueden ser: municipalidades, Dirección General de Aguas (DGA), Dirección Meteorológica de Chile, Departamento de Obras fluviales de los niveles regionales (cuando corresponda), Dirección de Obras Hidráulicas (DOH), empresas sanitarias, Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU), Instituto Geográfico Militar, o cualquier otro organismo público o privado que pudiese tener información de utilidad para el estudio.

## 2.5 ANÁLISIS HIDRÁULICO

En general, las relaciones fundamentales que rigen a la hidráulica de cauces son las ecuaciones de continuidad, conservación de la cantidad de movimiento y de la energía.

Para el caso especial del escurrimiento uniforme en tuberías, la expresión que relaciona la velocidad del fluido con la pérdida de energía debido a la fricción es la siguiente:

$$h_f = f \frac{L V^2}{D 2g}$$

Donde,

$h_f$  = La pérdida de energía debido a la fricción

$f$  = Factor de fricción

$L$  = Largo de la tubería

$D$  = Diámetro de la tubería

$V$  = Velocidad media del fluido

Para el caso especial del escurrimiento uniforme en canales, la expresión que relaciona la velocidad del fluido con la pérdida de energía debido a la fricción es la siguiente:

$$V = \frac{R_H^{2/3} \sqrt{S}}{n}$$

Donde,

$V$  = Velocidad media del fluido

$R_H$  = El radio hidráulico

$S$  = La pendiente del fondo

$n$  = Coeficiente de rugosidad

**TABLA 1.** VALORES RECOMENDADOS PARA EL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING

Tipo de superficie	Mínimo	Coefficiente n Recomendado	Máximo
Polietileno, HDPE	0,011	0,011	0,014
Tubos de mortero comprimido	0,012	0,013	0,015
Plástico reforzado con fibra, PRFV	0,011	0,013	0,015
Hormigón con moldaje metálico	0,011	0,012	0,013
Hormigón armado in situ	0,011	0,014	0,015
Acero corrugado	0,021	0,025	0,030
Shotcrete	0,016	0,022	0,025
Grava fina, maicillo	0,022	0,025	0,030
Superficies de tierra	0,023	0,025	0,030
Pastos	0,025	0,030	0,033
Superficies con vegetación	0,040	0,070	0,140

Fuente: DITUC 2013.

Para el caso especial del escurrimiento uniformemente variado, la velocidad o la altura de agua cambian paulatinamente a lo largo de la canalización pero permanecen constantes en el tiempo, al menos de manera aproximada, cumpliéndose de manera aproximada la Ley Hidrostática de presiones en cada sección. En virtud de lo anterior se puede encontrar la siguiente relación para los cambios de altura de agua en función de la pendiente de fondo, S, la pendiente de la línea de energía, J, y el número de Froude, F, correspondido en la siguiente ecuación:

$$\frac{dh}{dx} = \frac{S - J}{1 - F^2}$$

Donde a su vez, J se estima mediante la expresión:

$$J = \frac{n^2 V^2}{R_H^{4/3}}$$

En lo que respecta a poder dimensionar y controlar la producción de sedimentos, se han desarrollado diversos modelos predictivos, donde los modelos más simples se basan en ecuaciones de regresión para estimar la producción de sedimentos en base a parámetros geomorfológicos de la cuenca. Los principales agentes que determinan la producción de sedimentos en las cuencas son esencialmente fenómenos naturales o físicos, entre los que están el clima, el tipo y uso del suelo, la vegetación, la topografía, la existencia de zonas inundadas y la ocurrencia de fenómenos especiales como incendios. Sin embargo, la intervención antrópica puede, en determinadas circunstancias, acelerar o incrementar los procesos naturales (DICTUC, 2013).

Ejemplos de la participación humana son las prácticas de remoción de la cubierta vegetal, como faenas agrícolas y mineras, la urbanización, y las obras civiles que se establecen en los cauces. La variedad espacial de las causas mencionadas se traduce en fenómenos erosivos esencialmente heterogéneos en la cuenca, haciendo posible que varias zonas dentro de la misma cuenca concentren las fuentes principales de sedimentos. Haan, Barfield, & Hayes (1994), presentan una completa descripción de los fenómenos hidrológicos y de producción de sedimentos, en conjunto con modelo y métodos para la estimación y diseño en el caso de cuencas pequeñas.

En el análisis de la producción de sedimento habitualmente se emplean dos conceptos: la producción de sedimento –propriadamente tal– y la tasa de entrega de sedimentos. Tal como se indica en las siguientes relaciones, la primera hace referencia a la diferencia entre la erosión y la depositación, mientras que la segunda se refiere a la proporción de material erodado que efectivamente llega a la salida de la cuenca.

$$\textit{Producción de Sedimentos} = \textit{Erosión} - \textit{Depositación}$$

$$\textit{Tasa de entrega} = \frac{\textit{Producción de sedimentos}}{\textit{Erosión}} = \frac{\textit{Erosión} - \textit{Depositación}}{\textit{Erosión}}$$

La dinámica de los ríos en las diferentes zonas hidrográficas de Chile se encuentra controlada por procesos sedimentológicos de erosión, transporte, y depositación que determinan la morfología del cauce y su evolución en el tiempo. Estos procesos dependen fundamentalmente de cinco factores principales según Schumm (2005): (1) Clima/Hidrología; (2) Actividad Tectónica; (3) Litología de la cuenca; (4) Historia del cauce; y (5) Efectos antrópicos.

La gestión de ríos o canales en zonas urbanas, en condiciones naturales o con lecho móvil, requiere también caracterizar el sedimento y sus propiedades físicas para estimar la capacidad de transporte y la potencial evolución del cauce a la escala de tiempo de estudio.

Los modos de transporte de sedimentos generalmente se modelan y estiman de acuerdo a la siguiente clasificación:

- **Transporte de Fondo:** Las partículas de sedimento se desplazan en contacto continuo con el lecho, deslizándose, rodando, o saltando sobre su superficie.
- **Transporte en Suspensión:** Las partículas se desplazan lejos del lecho la mayor parte del tiempo, manteniéndose en suspensión en la columna de agua por efecto de la turbulencia.
- **Transporte de material fino:** Sedimento que se transporta sin interacción o intercambio con el lecho. Generalmente este material es más fino que 0,0625 mm, e interactúa con las planicies de inundación.

Se debe realizar el modelo hidráulico como una construcción digital, condensados en modelos numéricos matemáticos introducidos en un software para el posterior redimensionado<sup>1</sup>. La precisión de estos modelos está ligada al análisis y la calidad de información de entrada otorgada por la hidrología y todos sus componentes (topografía, geomorfología, cartografía, etc.), la dimensionalidad, ecuaciones empleadas, modelos probabilísticos definidos, cantidad de información requerida y tiempo de cálculo. El producto que se obtiene de esto son modelos pueden ser en (1) en una dimensión (1D): utilizados en cauces donde el flujo se mantiene dentro del cauce y la velocidad predominante en la dirección del río, (2) en dos dimensiones (2D): utilizado en cauces donde existen desbordes hacia las llanuras de inundación, y (3) en tres dimensiones (3D): utilizados para modelamiento de flujos complejos, cuando se busca conocer la estructura de estos.

De lo anterior, para la confección de estos, se utilizan datos de entrada para la determinación tanto del eje del río como las riberas, condiciones de perfil y modelamiento para cada una de las partes del cauce que se determinen relevantes en el análisis, información basada en lo detallado anteriormente en este mismo apartado.

Finalmente, al procesar los datos y determinar el diseño, se obtienen los caudales de excedencia para los periodos de retorno asociados, junto con las áreas afectadas y las alturas de inundaciones estimadas, generando así un mapeo para los cálculos y las estimaciones de los beneficios posteriores.

## 2.6 ÁREA DE INFLUENCIA Y POBLACIÓN OBJETIVO

Se deben identificar con precisión las áreas de inundación del sector de interés, otorgados por los estudios anteriormente detallados. Así mismo, es de suma importancia estimar la población afectada por el potencial problema de inundación, multiplicando el número de viviendas en el área de influencia por el valor promedio de habitantes por hogar, información que puede obtenerse de INE, CASEN o municipio.

Se espera además una caracterización socioeconómica de la población afectada en la zona de influencia, información disponible en CASEN.

Para el número de viviendas en los tramos inundables, es necesario tener un catastro de viviendas en la zona de influencia, o bien mediante la aplicación de métodos muestrales que permitan extrapolar los resultados al área de influencia. Adicionalmente, es requerido para esta metodología contabilizar los servicios públicos, industria y comercio existente en el área.

## 2.7 ANÁLISIS DEL SISTEMA ACTUAL DE DEFENSAS FLUVIALES-OFERTA

En esta etapa, se identificará como oferta la capacidad hidráulica del cauce y la contención de caudal asociado a este, de acuerdo a los periodos de retorno definidos. En el caso que ya existan obras de defensas fluviales de algún tipo, la capacidad hidráulica y de contención del cauce debe

---

<sup>1</sup> Término utilizado en computación para referirse al proceso de generación de una imagen digital fotorealista de un modelo con dimensiones.

ser calculada considerando todas las obras previamente realizadas. Las unidades de medida son en metros cúbicos por segundo ( $m^3/s$ ).

Se identificará la infraestructura existente y el estado de conservación de defensas fluviales cuando las haya, así como también la caracterización de quebradas y aquello que comprometa la zona urbana ante eventuales crecidas y riesgo de inundación.

Una clasificación geomorfológica de los suelos del área en estudio y su cuenca aportante, es importante para determinar su capacidad de retención, infiltración, pendientes y potencial generación de escorrentería. El proceso de escorrentería 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 evacuación de la cuenca. La urbanización de los terrenos afecta este coeficiente, 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 deben indicar zonas impermeables como estacionamientos, calles, avenidas, entre otras.

## 2.8 ANÁLISIS DE LA DEMANDA ACTUAL Y PROYECTADA

Se identificará como la demanda, los caudales medidos en metros cúbicos por segundo ( $m^3/s$ ) correspondientes a cada periodo de retorno asociado al modelamiento hidráulico. Estos caudales deben ser modelados dependiendo de la situación actual, vale decir, incluyendo las obras de defensas fluviales si es que tuviese. Se tendrán entonces caudales particulares modelados para los periodos de retorno de 5, 10, 25, 50, 100 y 200 años.

La determinación responde al previo estudio hidrológico que considere la pluviometría, fluviometría y los demás componentes que impacten en el área de estudio, como lo es el cambio climático. Para ello, se deben seleccionar las estaciones o periodos de tiempo correspondiente con el fin de ajustar la estadística y el modelaje a un periodo común que sea lo más reciente posible.

Con la demanda determinada, se pueden proyectar los niveles de excedencia determinados por los eventos modelados. Así, se obtiene la estimación y con ello la necesidad de cubrir estos eventos de excedencia, ya sea parcial o totalmente, lo cual está sujeto al diseño del proyecto y dependerá del análisis técnico económico.

## 2.9 OPTIMIZACIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL

Esto corresponde a pequeñas inversiones o trabajos que eventualmente podrían mejorar la situación actual. En general, trabajos de limpieza y rectificación de cauces pueden construir 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.

## **2.10 BALANCE OFERTA-DEMANDA**

A partir de los cálculos y estimación de la oferta y demanda, se deberá establecer si existe una brecha que debe ser cubierta. Usualmente, esta brecha se da por exceso de demanda, vale decir, cuando los cauces estimados y proyectados en  $m^3/s$  según los periodos de retorno, superan la capacidad hidráulica y de contención del río.

Se deben determinar los puntos de inundación y exceso de caudal, la altura de inundación e identificar el o los puntos que deben ser cubiertos, calculando la brecha existente para cada periodo de retorno definido.

## **2.11 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 o tipos de infraestructura que pueden considerarse en las obras de defensas y deben ser comparables entre sí. En conjunto con las medidas estructurales, se debiesen plantear también medidas normativas y de gestión.

Por lo tanto, se debe evaluar si el problema detectado y la brecha oferta-demanda existente se puede resolver con medidas de optimización de la situación actual, o si se requiere un proyecto de inversión para este fin. Todos los dimensionamientos de las alternativas propuestas de solución, debe tener en cuenta la proyección de la brecha detallada anteriormente.

Como complemento al análisis de alternativas, se debe incorporar también una evaluación de riesgo de desastres, situando al proyecto y a la inversión pública en un mapa en donde se identifiquen potenciales riesgos asociados a otros fenómenos naturales que no son auto contenidos en esta metodología.

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.

# **CAPÍTULO 3**

## **3.1 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 Sistema

Nacional de Inversiones, se utiliza el enfoque de eficiencia, aplicando dos métodos para la medición y valoración de los costos y beneficios:

**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) permitiendo entonces concluir sobre la rentabilidad económica del proyecto.

**Análisis costo-eficiencia:** este análisis asume que la provisión de los beneficios son socialmente deseados, por lo que no se calcula un valor monetario de los beneficios, ya sea por la falta de herramientas metodológicas que lo impidan, dificultad de cálculos, complejos modelos o simplemente no existe un mercado observable en donde se transe el bien o servicio. 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 defensas fluviales se evaluarán con un enfoque costo beneficio para aquellas obras con un costo superior a los M\$200.000, en caso contrario se aplicará el criterio costo eficiencia.

### 3.2 IDENTIFICACIÓN DE BENEFICIOS

Los beneficios sociales derivados de proyectos de defensas fluviales vienen dados por el ahorro de costos o la disminución de daños otorgados por el proyecto. Se compara los daños generados por la situación inicial de excedencia y desborde de cauce, y se compara con los daños provocados por las potenciales alturas de inundación generadas (o simuladas) posterior al proyecto. Este diferencial se reconoce como un ahorro de costos o beneficios por menores daños, dentro de los cuales, se reconocen metodológicamente los siguientes:

- 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. En la presente metodología se calcula con precio hedónico.
- d. **Beneficio por evitar pérdida de producción en propiedades comerciales e industriales:** corresponde a la medición **alternativa y excluyente** a c), considerándose para este cálculo el valor de la producción de bienes y/o servicios (valorizables) que se deja de percibir producto de la afectación de la inundación al centro productivo comercial o industrial. Calculado según metodología de daño evitado.
- e. **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. Calculado según metodología de precio hedónico.
- f. **Beneficio por evitar pérdida de producción en establecimientos públicos:** corresponde a la medición **alternativa y excluyente** a e), considerándose para este cálculo el valor de la producción de bienes y/o servicios (siempre y cuando se puedan medir) que se dejan de percibir o entregar producto de la afectación de la inundación al establecimiento público. Calculado según metodología de daño evitado.
- g. **Beneficio por evitar pérdida de producción agrícola-ganadera:** corresponde a la medición del valor de los bienes y servicios que se dejan de producir/percibir producto del evento de inundación y/o desborde. Se considera esta alternativa **excluyente** a otra que revaloriza el terreno agrícola-ganadero producto de la realización del proyecto.
- h. **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.
- i. **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.

- j. 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).
- k. Beneficio por menores gastos de emergencia y limpieza de vías, sumideros y calles:** 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 el episodio de desborde de caudal.
- l. 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.
- m. 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.
- n. 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.

- o. 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.
- p. 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. El evaluador debe dejarlos en calidad de intangibles y claramente explicitados en el texto.

### 3.3 MÉTODOS DE VALORACIÓN DE LOS BENEFICIOS

Para medir y valorar los beneficios de un proyecto de defensas fluviales asociados a un nivel determinado de protección contra inundaciones, esta metodología utiliza dos métodos dependiendo del tipo de beneficios que se capturan: precios hedónicos y daño evitado (ahorro de costos por este concepto, que se contabiliza como beneficios).

- 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".

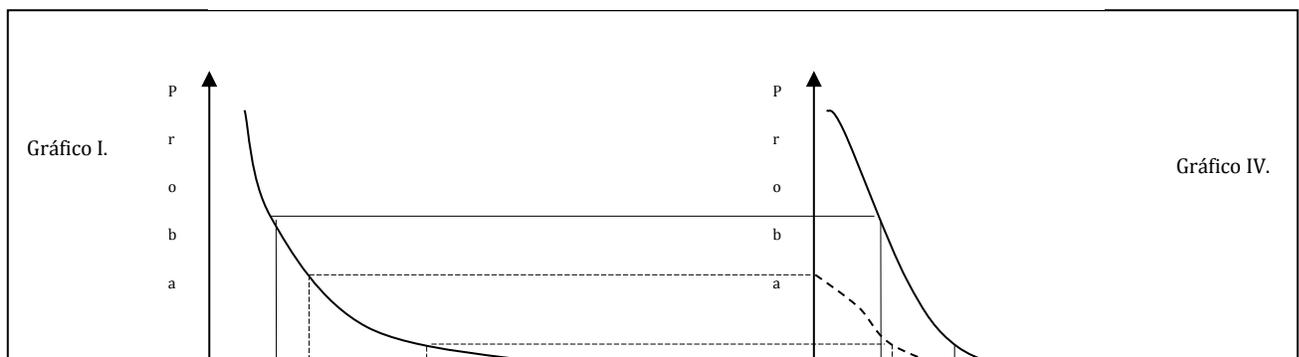
- b. Daño evitado esperado:** este método estima cada uno de los daños evitados con el proyecto respecto de la situación sin proyecto, tanto a los propietarios y usuarios de las viviendas como al resto de los afectados por las inundaciones.

La medida de los beneficios de proyectos de control de desbordes, calculada por la metodología de daño evitado, viene dada por el valor esperado de los ahorros de costos que se obtienen con el proyecto. 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: (1) los desbordes y sus probabilidades de ocurrencia, (2) niveles de desbordes

y severidades de inundación, (3) severidades de inundación y costos de los daños producidos, y (4) los costos y sus probabilidades de ocurrencia.

Es evidente que la condición necesaria para que se produzca un fenómeno de inundaciones por exceso de caudal, es un desborde del mismo, por lo que es fundamental una caracterización detallada del fenómeno. Un evento de desborde fluvial corresponde a un fenómeno aleatorio el cual se rige por una función de densidad de probabilidades (conocida o desconocida). Para efectos de este ejemplo gráfico, de un caso en donde no se tengan datos apropiados de excedencia de caudales y no se pueda modelar adecuadamente su función, se muestra como simplificación del análisis que la excedencia del caudal y posterior inundación es generado por las precipitaciones como el factor más relevante. En el gráfico I de la figura 10, 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 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 10. CURVA DE PROBABILIDAD-DAÑO**



Al producirse las precipitaciones, estas aportan a aumentar el nivel de caudal y posteriormente causar inundaciones, las que ocurren dependiendo de la topografía de la zona, 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 10 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 10.

Finalmente se deduce que estos costos económicos en un año dado son aleatorios, como consecuencia de la aleatoriedad de la ocurrencia del fenómeno, y para esta modelación en particular, 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. 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 10 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, 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.

Esta última parte es crucial, y es la base de la estimación de beneficios del proyecto por daño evitado (o ahorro de costos). Los beneficios por lo tanto, para un periodo de retorno  $t$ , estarán dados por la siguiente ecuación:

$$B(t) = \int_5^{200} P(t) * [C_0(t) - C_1(t)] di$$

Donde,

$B(t)$  = beneficios del proyecto para un periodo de retorno  $t$

$P(t)$  = probabilidad de ocurrencia de desborde con periodo de retorno  $t$

$C_0(t)$  = costo asociado al desborde  $t$ , sin proyecto

$C_1(t)$  = costo asociado al desborde  $t$ , con proyecto

La ecuación anteriormente planteada corresponde al valor esperado del ahorro de costos para el año  $t$ . En ella, se representa como  $P(i)$  la probabilidad de ocurrencia del desborde asociado a cierto periodo de retorno  $T$ , calculado como  $1/T$ . Mientras mayor periodo de retorno, menor

probabilidad de ocurrencia tendrá, así como mayor serán los daños potenciales. Los años de evaluación están acotados a los periodos de retorno definidos en esta metodología.

El diferencial corresponde a los costos estimados sin proyecto, los cuales en magnitud serán mayores que los costos con proyecto. Este diferencial se describe como **beneficios por daño evitado o ahorro de costos**, y al multiplicarlo por la probabilidad de ocurrencia del fenómeno, nos otorga entonces la esperanza matemática del beneficio por daño evitado para el desborde asociado al periodo de retorno t.

En este método, se deben cuantificar y valorar cada tipo de beneficio por separado y aquellos tangibles definidos en la presente metodología. Su principal ventaja viene dada por la sencillez del cálculo e integración de las evaluaciones por periodos de retorno, lo cual es más simple y menos costoso de evaluar.

### 3.4 ESTIMACIÓN DE LOS BENEFICIOS SOCIALES

La estimación de los beneficios de los proyectos de defensas fluviales, se realizarán exclusivamente para el área de influencia del proyecto, definida como el área de inundación asociada al desborde del cauce en un evento con periodo de retorno t. La metodología de valoración y estimación de los beneficios sociales se presenta en la tabla siguiente:

**TABLA 2. BENEFICIOS SOCIALES Y FORMA DE VALORIZARLOS**

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
Disminución en pérdida de producción agrícola-ganadera	Daño Evitado
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

#### 3.4.1 CÁLCULO DEL BENEFICIO SOCIAL

El beneficio social se calcula mediante la siguiente expresión matemática:

$$VE(B) = \int f_Q(Q) * B(Q)dQ$$

Donde,

$VE(B)$  = *valor esperado del beneficio social*

$B(Q)$  = *beneficio asociado a un escenario anual de crecida.*

Lo anterior, corresponde por construcción, esencialmente a la diferencia de ahorro de costos entre la situación sin proyecto y la situación con proyecto

$f_Q(Q)$  = *función de distribución que describe crecida promedio anual*

La sintaxis en el cálculo de los beneficios totales del proyecto, se ordena como sigue:

1. Se deben identificar los diferentes tramos de inundación del área de interés, y para cada uno de ellos, contabilizar el número de viviendas, locales comerciales, establecimientos públicos, terrenos baldíos, terrenos agrícolas.
2. Realizar la modelación para obtener las alturas de inundación en cada tramo definido, para las situaciones con proyecto - sin proyecto y para cada modelamiento dependiente de cada periodo de retorno. Al iniciar, se escoge el primer periodo de retorno.
3. Comparar en cada situación la altura simulada con los rangos establecidos y asignarle el daño correspondiente a cada uno de ellos, tanto para con - sin proyecto y para cada periodo de retorno.
4. Calcular el diferencial de daño evitado en las situaciones con y sin proyecto, de cada tramo y para cada uno de los periodos de retorno simulados. Luego, multiplicarlos por el número de viviendas, alumnos, trabajadores, vehículos, locales comerciales, establecimientos públicos, terrenos baldíos, terrenos agrícolas, longitud de calle, y más, según corresponda, contabilizando todas aquellas variables que aporten al beneficio por daño evitado o ahorro en costos.
5. Realizar la sumatoria de los beneficios ponderados por los rangos de probabilidades de ocurrencia de los eventos (ver Anexo 1) para obtener la esperanza de los beneficios por daños evitados anualmente.
6. Finalmente llevar este valor como el beneficio total anual por daño evitado, al cálculo del valor actual neto (VAN) para medir la rentabilidad del proyecto bajo el método de costo - beneficio.

La modelación matemática y el cálculo numérico de los beneficios anteriormente nombrados, siguen una metodología que se nutre de otros cálculos sectoriales, haciendo que esta metodología de defensas fluviales rescate aportes de otras disciplinas y sectores y lo integre en la evaluación de un proyecto en su conjunto, con el trabajo de recoger la mayor cantidad de

información y buscar la disponibilidad de otra mediante caminos alternativos. Todo lo anterior, con el objetivo de disponer de mayor información para la toma de decisiones, y generar proyectos sustentables y con una evaluación enriquecida y con valor agregado<sup>2</sup>

### 3.4.2 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”<sup>3</sup> a nivel nacional, en donde los daños obtenidos para cada altura de inundación fueron los siguientes:

**TABLA 3. ALTURA DE INUNDACIÓN Y DAÑO CORRESPONDIENTE**

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

El método propuesto plantea que si en cada una de las simulaciones de desbordes por excedencia de caudal, 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 daño es 0 UF. 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 daño 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 daño es 89,0 UF.
- Es mayor a 60 cm, el daño es 127,8 UF (se inundan totalmente algunos enseres de la vivienda).

<sup>2</sup> Las tablas que se presentarán a continuación en las secciones que siguen, son material de elaboración propia, basados en la metodología de “Formulación y Evaluación de Proyectos de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias”, publicada por el Sistema Nacional de Inversiones, del Ministerio de Desarrollo Social. Sitio web: <http://sni.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/>

<sup>3</sup> Concepto basado en la metodología de “Formulación y Evaluación de Proyectos de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias”. Ministerio de Desarrollo Social, 2017. Para mayor información, se sugiere ver el Anexo 2: “Procedimiento del Diseño de la Vivienda Tipo y estimación de daños”.

Para obtener el resultado del beneficio esperado se deben realizar los 6 pasos nombrados en la sección 3.4.1 Cálculo del Beneficio Social Esperado. El beneficio esperado obtenido deberá registrarse en cada uno de los periodos del horizonte de evaluación.

### 3.4.3 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:

$$\frac{\Delta P}{P} = e^{(-0.033987 * \Delta Severidad + 0.5 * 0.012^2)} - 1$$

Donde,

$$\frac{\Delta P}{P} = \text{variación en el precio del terreno debido a las obras de defensas fluviales}$$

$$\Delta Severidad = \text{variación del valor del índice debido a las obras de defensas fluviales}$$

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:

**TABLA 4.** 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

El método propuesto plantea que en cada evento simulado 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 parte 3.4.1 Cálculo del Beneficio Social 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.

#### 3.4.4 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 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, el cual variará en función de la altura de la inundación según se muestra a continuación:

**TABLA 5.** 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 parte 3.4.1 Cálculo del Beneficio Social 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.

#### **3.4.5 BENEFICIO POR EVITAR PÉRDIDA DE PRODUCCIÓN EN PROPIEDADES COMERCIALES E INDUSTRIALES**

Esta alternativa por daño evitado, corresponde a la medición **alternativa y excluyente a 3.3.4** la cual es por precio hedónico, considerándose para el cálculo de la presente, el valor de la producción de bienes y/o servicios (valorizables) que se deja de percibir producto de la afectación de la inundación al centro productivo comercial o industrial.

Se deben identificar todas las propiedades que tengan un giro comercial y/o industrial que estén afectas a la inundación, procediendo a identificar y valorizar a precios sociales los productos y servicios que se entregan. En este caso, al verse afectado el funcionamiento del negocio debido a la inundación, se considerará como beneficio atribuido al proyecto, el hecho de evitar la pérdida de producción de los establecimientos.

#### **3.4.6 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 del punto 3.4.4.

#### **3.4.7 BENEFICIO POR EVITAR PÉRDIDA DE PRODUCCIÓN EN ESTABLECIMIENTOS PÚBLICOS**

Esta alternativa por daño evitado, corresponde a la medición **alternativa y excluyente a 3.4.6 y a su cálculo en 3.4.4** la cual es por precio hedónico, considerándose para el cálculo de la presente, el valor de la producción de bienes y/o servicios (valorizables) que se deja de percibir producto de la afectación de la inundación al establecimiento público.

Se deben identificar todas las propiedades que sean establecimientos públicos y que estén afectas a la inundación, procediendo a identificar y valorizar a precios sociales los productos y servicios que se entregan. En este caso, al verse afectado el funcionamiento del negocio debido a la inundación, se considerará como beneficio atribuido al proyecto, el hecho de evitar la pérdida de producción de los establecimientos públicos.

#### **3.4.8 BENEFICIO POR DISMINUCIÓN EN PÉRDIDA DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA – GANADERA**

Corresponde a la medición del valor de los bienes y servicios que se dejan de producir/percibir producto del evento de inundación y/o desborde, correspondiente a la metodología de daño evitado. Se considera esta alternativa **excluyente** a otra que revaloriza el terreno agrícola-

ganadero producto de la realización del proyecto, ya que este esta metodología corresponde a precio hedónico.

### 3.4.9 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 UF<sup>4</sup>. Para obtener la tasa de motorización ( $T_m$ ), se debe calcular el cuociente entre el número de vehículos y el número de viviendas. El primer dato se obtiene del INE (Anuario parque de vehículos en circulación), mientras que el segundo a partir de la encuesta CASEN.

Para obtener el beneficio esperado se deberá realizar los 6 pasos nombrados en la parte 3.4.1 Cálculo del Beneficio Social Esperado, en donde el daño correspondiente según altura de inundación será:

**TABLA 6.** ALTURA DE INUNDACIÓN Y DAÑO CORRESPONDIENTE ASOCIADO

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)

### 3.4.10 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 , sin proyecto

$Cd^{cp}$  = Costo anual esperado de deterioro de la infraestructura vial , con proyecto

<sup>4</sup> Recuperado de la "Metodología de 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.

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 caudal, complementado por antecedentes obtenidos en terreno como visitas en terreno, 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:

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

Donde,

$\Omega^{np}$  = Coeficiente de rotura para calles no pavimentadas

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

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

$\Omega^p$  = 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 siguiente tabla:

**TABLA 7. COEFICIENTE DE ROTURA ( $\Omega$ ) EN FUNCIÓN DE LA ALTURA DE INUNDACIÓN**

Altura del agua (metros)	Calles pavimentadas ( $\Omega^p$ )	Calles no pavimentadas ( $\Omega^{np}$ )
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

En tanto no se disponga de antecedentes específicos de la zona en estudio, se sugiere utilizar los siguientes valores de costos de reposición de calles<sup>5</sup>:

<sup>5</sup> Valores sugeridos en "Metodología de Preparación y Evaluación de Proyectos de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias", Ministerio de Desarrollo Social, 2017.

Calles pavimentadas: UF 2,01 / m<sup>2</sup>

Calles no pavimentadas: UF 0,33 / m<sup>2</sup>

Para obtener el beneficio esperado se deberá realizar los 6 pasos nombrados en la parte 3.4.1 Cálculo del Beneficio Social Esperado.

### 3.4.11 BENEFICIO POR DISMINUCIÓN DE LOS COSTOS GENERALIZADOS DE VIAJE (CGV)

La estimación de estos 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

A su vez, el Costo Generalizado de Viaje (CGV) corresponde a:

$$CGV = Cc + Ct$$

Donde,

$CGV$  = Costo Generalizado de Viaje (CGV)

$Cc$  = Costo anual esperado por consumo de combustible

$Ct$  = Costo anual esperado de tiempo de viaje

- **COSTO DE COMBUSTIBLE**

Por su parte, el Costo de Combustible  $CC_j^i$  por cada vehículo "j" y para cada inundación "i" se calculará mediante la siguiente ecuación:

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

Donde,

$L$  = Distancia promedio recorrida por los vehículos en el área de inundación (Km)

$\eta_j^i$  = Rendimiento del vehículo "j" para cada inundación "i"

$P_j$  = Precio social del combustible utilizado por vehículo "j" (\$/lt)

$F_j =$  Flujo de vehículos tipo "j" entrante al área de inundación (vehículos/hora)

$T_i =$  Duración de la inundación producida por el desborde "i" (horas)

El rendimiento de los vehículos  $\eta_j$  será función de la altura de inundación, según muestra en la tabla siguiente:

**TABLA 8.** RENDIMIENTO DE VEHÍCULOS EN FUNCIÓN DE ALTURA DE INUNDACIÓN

Altura del agua (metros)	$\eta$ (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

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 excedencias de cauce indique que se inundan.

El costo total de combustible estará entonces dado por la siguiente fórmula:

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

Donde,

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

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

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

- **COSTO 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:

$$CT_j^i = t_i * F_j * Vt * T_i$$

Donde,

$t_i$  = Tiempo de viaje durante el desborde "i"

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

$V_t$  = Valor del tiempo de viaje de los pasajeros para transporte urbano<sup>6</sup>

$T_i$  = Duración de la inundación producida por el desborde "i" (horas)

Esta fórmula utiliza el **tiempo de viaje  $t_i$** , el cual está estimado de la siguiente manera:

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

Siendo L la distancia recorrida por los vehículos en cada tramo modelado (Km) y  $V_i$  la velocidad de circulación media<sup>7</sup> durante la inundación (Km/hr) y que, a su vez, se estima como:

$$V_i = C_v * V_n$$

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/hr)

Se presentan en seguida los valores del  $C_v$  en función de la altura de inundación:

**TABLA 9. VALORES DE  $C_v$  EN FUNCIÓN DE ALTURA DE INUNDACIÓN**

Altura del agua (metros)	$C_v$
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

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

<sup>6</sup> Dato entregado anualmente por el Sistema Nacional de Inversiones, Ministerio de Desarrollo social. Página web: <http://sni.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/>

<sup>7</sup> Este dato se podrá obtener de los estudios del Sistema de Transporte Urbano (STU) realizado por SECTRA para algunas ciudades del país.

Por lo tanto, el costo total de tiempo de viaje  $CT_T^i$ , estará dado por:

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

$CT_T^i$  = 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, otros.

Para obtener el beneficio esperado en este ítem, se deberá realizar los 6 pasos nombrados en la parte 3.4.1 Cálculo del Beneficio Social Esperado.

### 3.4.12 BENEFICIO POR MENORES GASTOS DE EMERGENCIA Y LIMPIEZA DE VÍAS, SUMIDEROS Y CALLES

Para este apartado, lo que interesa estimar son los gastos 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 evento 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 cociente entre el daño a las viviendas con proyecto y sin proyecto<sup>8</sup>.
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.

---

<sup>8</sup> Dado que no se cuenta con la relación altura de inundación y nivel de gasto por emergencia y limpieza, para la estimación de este beneficio por ahorro de costos, se asume la misma proporción de menor daño de la vivienda en las situaciones con y sin proyecto. Esto mismo aplica en los beneficios de liberación de recursos públicos en salud y en gastos de ONEMI.

### 3.4.13 BENEFICIO POR MENOR AUSENTISMO LABORAL

Es necesario asumir ciertos supuestos para la estimación de los beneficios por menor ausentismo laboral, los cuales se reconocen como siguen:

- Para una altura de inundación mayor o igual a 20 cm y menor a 50 cm, se produce un día de ausentismo laboral.
- 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. Para el caso particular 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 cociente entre la fuerza laboral ocupada y el número de las viviendas en la región, según fuentes como el INE.

Para obtener el beneficio esperado en este ítem, se deberá realizar los 6 pasos nombrados en la parte 3.4.1 Cálculo del Beneficio Social Esperado. Se debe contabilizar los daños correspondientes asignados según la altura de inundación que se detalla a continuación:

**TABLA 10.** ALTURA DE INUNDACIÓN Y DAÑO CORRESPONDIENTE ASOCIADO POR AUSENTISMO LABORAL

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

### 3.4.14 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 en este ítem, se deberá realizar los 6 pasos nombrados en la parte 3.4.1 Cálculo del Beneficio Social Esperado. El daño correspondiente asociado según altura de inundación será:

**TABLA 11.** ALTURA DE INUNDACIÓN Y DAÑO CORRESPONDIENTE ASOCIADO POR AUSENTISMO ESCOLAR

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

### 3.4.15 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 y prevención para la 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.

#### **3.4.16 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:

- a. Cajas de Alimentos
- b. Viviendas de Emergencia
- c. Mangas plásticas
- d. Cajas techo
- e. Pañales
- f. Grupo generador
- g. Motobombas
- h. Colchonetas
- i. Frazadas
- j. Catres de Campaña
- k. Cilindros de gas
- l. Cocinillas
- m. Planchas de Fribrocemento
- n. 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 cuociente 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.

### 3.5 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 mantención:** 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.

### 3.6 COMPLEMENTOS A CONSIDERAR EN LA EVALUACIÓN SOCIAL DE PROYECTOS

#### 3.6.1 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 costo 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.

**TABLA 12.** 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 <sub>D</sub>	(VM menos IVA y menos aranceles)* FC <sub>D</sub>
Combustibles	Valor publicado por el Ministerio de Desarrollo Social	Valor publicado por el Ministerio de Desarrollo Social
Mano de Obra calificada	VM * FC <sub>MOC</sub>	VM * FC <sub>MOC</sub>
Mano de Obra Semicalificada	VM * FC <sub>MOSC</sub>	VM * FC <sub>MOSC</sub>
Mano de Obra no Calificada	VM * FC <sub>MONC</sub>	VM * FC <sub>MONC</sub>
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.

### 3.6.2 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 para proyectos de defensas fluviales, se considerará un horizonte de evaluación de 30 años.

### 3.6.3 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.

### 3.6.4 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. El valor numérico de esa tasa social de descuento se actualiza anualmente y se publica en el Sistema Nacional de Inversiones del Ministerio de Desarrollo Social.

## 3.7 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 obras de defensas fluviales, con montos superiores a M\$200.000 se aplicará el enfoque costo beneficio, en caso contrario se utilizará costo eficiencia.

## 3.8 INDICADORES COSTO – BENEFICIO

### 3.8.1 CONSTRUCCIÓN DE LOS FLUJOS DE BENEFICIOS NETOS

A continuación se muestra cómo deben presentarse los flujos de beneficios netos que permitirán estimar los indicadores de costo – beneficio.

**TABLA 13.** CONSTRUCCIÓN DE LOS FLUJOS DE BENEFICIOS NETOS

Ítems	Año 0	Año 1	Año 2	...	Año 30
<b>(1) Beneficios</b>		B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	...	B <sub>30</sub>

<b>(2) Costos Operación</b>		CO <sub>1</sub>	CO <sub>2</sub>	...	CO <sub>30</sub>
<b>(3) Costos Mantención</b>		CM <sub>1</sub>	CM <sub>2</sub>	...	CM <sub>30</sub>
<b>(4) Inversión</b>	I <sub>0</sub>				
<b>(5) Valor Residual</b>					VR
Flujo de Beneficios Netos	I <sub>0</sub>	BN <sub>1</sub>	BN <sub>2</sub>	...	BN <sub>30</sub>
<b>(1)-(2)-(3)-(4)+(5)</b>					

Donde,

$B_t$  = Beneficio al año  $t$

$CO_t$  = Costo de operación al año  $t$

$CM_t$  = Costo de mantención al año  $t$

$I_0$  = Inversión inicial año 0

$CT_t$  = Costo total año  $t$

$VR$  = Valor Residual de la inversión

### 3.8.2 VALOR ACTUAL NETO (VAN)

Esta evaluación se utiliza cuando son identificables tanto los costos como los beneficios relativos al proyecto. Utilizando definiciones anteriores, podemos clasificar esto como el beneficio generado por mayor consumo asociado al incremento en la producción. La fórmula correspondiente es:

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

Donde,

$I_0$  = Inversión inicial

$BN_t$  = Beneficio social neto del proyecto en el periodo  $t$

$VR$  = Valor Residual

$r$  = Tasa social de descuento

$n$  = número de años del horizonte de evaluación del proyecto

El Valor Actual Neto Social representa el beneficio neto actualizado para el país producto de la ejecución del proyecto. El determinante de la elección sobre la conveniencia de ejecutar un proyecto según este indicador, es:

*Si VANs > 0 → conviene ejecutarlo*

*Si VANs < 0 → no conviene ejecutarlo*

*Si VANs = 0 → indiferente a la ejecución del proyecto*

### 3.8.3 TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)<sup>9</sup>

La TIRs es la tasa de descuento que hace el VANs sea igual a cero. Es decir, es aquella tasa en la cual la inversión es indiferente porque los beneficios se igualan con los costos.

$$\text{Valor Actual Neto Social (VANs)} = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{BN_t}{(1+\rho)^t} + \frac{VR}{(1+\rho)^n} = 0$$

Donde,

$\rho = \text{tasa de descuento que hace el VANs} = 0$

El determinante de la elección sobre la conveniencia de ejecutar un proyecto según este indicador, es:

*Si TIRs > r → conviene ejecutar el proyecto*

*Si TIRs < r → no conviene ejecutar el proyecto*

*Si TIRs = r → indiferente a la ejecución del proyecto*

Este criterio debe usarse a modo indicativo y de sustento matemático, ya que puede presentar algunos inconvenientes por su construcción, dando cuenta de proyectos con múltiples TIRs o en los cuales derechamente no existe. Así mismo, tampoco permite la comparación de proyectos que sean mutuamente excluyentes.

### 3.8.4 VALOR ANUAL EQUIVALENTE (VAE)

Este indicador nos señala cuánto es el beneficio que entrega el proyecto anualmente. Lo destacable e importante, es que nos permite comparar proyectos que no tengan necesariamente la misma vida útil, pero sí pueden ser repetibles en el tiempo (mediante un plan de reinversión). Este indicador se compone del VAN y un factor de recuperación:

$$VAEs = \frac{VANs}{\left(\frac{(1+r)^n - 1}{r(1+r)^n}\right)}$$

En la práctica, este indicador no es muy utilizado debido principalmente a que las alternativas de proyectos para la resolución de un problema, no suelen diferir demasiado en cuanto a sus horizontes de evaluación.

---

<sup>9</sup> Se puede hablar de TIR cuando se trata de proyectos privados o TIRs (tasa interna de retorno social) si se trata de proyectos públicos.

### 3.9 INDICADORES COSTO – EFICIENCIA

#### 3.9.1 CONSTRUCCIÓN DE LOS FLUJOS DE COSTOS ANUALES

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

**TABLA 14.** CONSTRUCCIÓN DE LOS FLUJOS DE COSTOS ANUALES

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

Donde,

$CO_t =$  Costo de operación al año  $t$

$CM_t =$  Costo de mantención al año  $t$

$I_0 =$  Inversión inicial año 0

$CT_t =$  Costo total año  $t$

$VR =$  Valor Residual de la inversión

#### 3.9.2 VALOR ACTUAL DE LOS COSTOS (VAC)

Estos indicadores de Costo-Eficiencia son necesarios cuando los beneficios sociales de los proyectos son muy complejos de calcular, ya sea por la falta de herramientas metodológicas que lo impidan, dificultad de cálculos, modelos complejos o simplemente que no exista un mercado observable en donde se transen los bienes y servicios que aporta el proyecto. Ejemplo de estos son los nombrados anteriormente: educación, salud, justicia, seguridad, entre otros.

Las alternativas de proyectos además de proporcionar beneficios similares, pueden tener igual o distinta vida útil, pero estos proyectos no son repetibles. La fórmula es la siguiente:

$$\text{Valor Actual de Costos Sociales (VACs)} = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{CT_t}{(1+r)^t}$$

Donde,

$I_0 =$  Inversión inicial

$CT_t =$  Costo social total de operación y mantención en el periodo  $t$

$r$  = Tasa social de descuento

$n$  = número de años del horizonte de evaluación del proyecto

### 3.9.3 COSTO ANUAL EQUIVALENTE (CAE)

Cuando las alternativas analizadas tienen distintas vidas útiles, pero los proyectos sí son repetibles, no es posible utilizar el VACs para compararlas debido a sus horizontes de evaluación distintos. Luego, es necesario llevar las alternativas a un período de tiempo común.

Se utiliza entonces, el Costo Anual Equivalente, que corresponde a un valor uniforme del costo anual pudiendo así hacer comparables las alternativas. La fórmula es la siguiente:

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

### 3.9.4 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.

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

## 3.10 ANÁLISIS DE RIESGO

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

### 3.10.1 FUENTES DE RIESGO

En el siguiente cuadro se detallan las principales fuentes de riesgo de los proyectos de defensas fluviales, durante sus etapas de inversión y operación.

**TABLA 15.** FUENTES DE RIESGO EN PROYECTOS DE DEFENSAS FLUVIALES

Etapas	Fuente de Riesgo
<b>Inversión</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Variabilidad en costos:               <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Cambio en precios unitarios</li> <li>○ Cambio en cantidades contratadas</li> <li>○ Obras no consideradas</li> <li>○ Imprevistos (fuerza mayor)</li> </ul> </li> </ul>

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

Como mención particular en este apartado de fuentes de riesgo, uno de los más importantes que se ha identificado corresponde a las expropiaciones. En particular, se da el caso en que cuando se buscan terrenos para adquirir por parte del estado para la realización del proyecto de obras fluviales, los propietarios de los mismos buscan internalizar el valor endógenamente de la obra de defensa fluvial y del terreno que ya no es inundable (y por ende cultivable, edificable, etc.) antes de la expropiación respectiva, creciendo muchas veces el valor que le asignan para la compra por parte del estado.

Este problema elimina toda componente hedónica de revalorización del terreno, ya que efectivamente ocurre antes de la construcción de la defensa misma. Esto repercute en que paradójicamente la compra del terreno mismo para la construcción de la obra de defensa fluvial sea tan cara, que no justifique técnica-económicamente la realización del proyecto.

### 3.11 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Tanto la metodología de precios hedónicos como la metodología de daño evitado incorporan el hecho de que la pluviometría y los factores desencadenadores de desbordes de cauces, son variables aleatorias, por lo que el valor de beneficios que se obtiene corresponde a un valor esperado.

Se busca medir principalmente el cambio en el VAN ante variaciones de parámetros y supuestos considerados en el cálculo y la modelación del problema para tomar decisiones bajo escenarios con menos incertidumbre y lograr así inversiones que usen eficientemente los recursos. Por lo tanto, el objetivo es identificar aquellos parámetros y supuestos más sensibles que deben ser revisados y estudiados en detalle, con la finalidad de orientar en la especificación y decisión del proyecto.

En este tipo de metodologías, se tiene plena conciencia que el hecho de considerar las excedencias de caudal y/o inundaciones provocadas responden a funciones de densidad de probabilidades ajustadas por modelo, por lo que explícitamente se estiman con cierta confianza y con un margen de error asociado, teniendo ya, un grado incertidumbre o riesgo. Por lo mismo, para minimizar esta, es que se plantea la conveniencia de sensibilizar también las variables asociadas a las probabilidades de inundación (precipitación y otras). Esto es especialmente relevante en contextos en los que se cuenta con pocos datos pasados o modelos dinámicos muy cambiantes concatenados con eventos multidireccionales, ejemplo claro de esto último es el cambio climático.

Se sugiere construir una matriz de escenarios (usualmente optimista-neutral-pesimista) a partir de las variables más importantes y sensibles a cambios que repercutan en el VAN. Sería de gran utilidad si a ello se le agregasen elementos gráficos identificables como gráficos de tornado, curvas de VAN en función de parámetros de interés, etc. Lo anterior responde a un enfoque de sensibilización previo al realizado para el VAN mismo, todo con el objeto que tener mayor claridad y contar con mejor información para una mejor toma de decisiones para inversiones eficientes.

De acuerdo a lo planteado anteriormente, y junto con 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 en la siguiente tabla:

**TABLA 16.** TIPO DE EVALUACIÓN, VARIABLES A SENSIBILIZAR Y PROCEDIMIENTO

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

## ANEXO 1

### Estimación de Daño Evitado

Para estimar el Daño Evitado esperado se requiere contar con la distribución de probabilidades del daño por evento. De acuerdo a lo visto anteriormente, se asume que esta probabilidad está caracterizada por la distribución de probabilidades de la crecida promedio anual, la que causa el daño respectivo.

En consecuencia, el valor esperado de los beneficios anuales obtenidos mediante la metodología del daño evitado estará dado por la siguiente expresión:

$$VE(B) = \int f_Q(Q) * B(Q)dQ$$

Expresión que también puede ser reescrita como:

$$VE(B) = \int \frac{\partial F_Q}{\partial Q} * B(Q)dQ$$

Donde,

$VE(B)$  = *valor esperado del beneficio social*

$B(Q)$  = *beneficio asociado a un escenario anual de crecida.*

$f_Q(Q)$  = *función de distribución que describe crecida promedio anual*

$F_Q(Q) =$  función de distribución acumulada que describe crecida promedio anual

En la práctica, este cálculo del valor esperado se realiza mediante una aproximación discreta de la integral involucrada, la cual se ejemplifica en la siguiente tabla, recogiendo N escenarios de crecidas promedio anuales:

**TABLA 17.** CRECIDAS, PERIODOS DE RETORNO Y PROBABILIDADES

Crecida promedio Anual simulada	Marca de Clase o escenario de periodo de retorno	Intervalos propuestos de Probabilidad	Rangos de Probabilidad (Lim Superior-Lim Inferior) $\Delta F_Q(Q_{j+}) - F_Q(Q_{j-})$
$Q_1$	$T_1$	$\left[ 0, 1 - \frac{1/T_1 + 1/T_2}{2} \right]$	$1 - \frac{1/T_1 + 1/T_2}{2}$
$Q_2$	$T_2$	$\left[ 1 - \frac{1/T_1 + 1/T_2}{2}, 1 - \frac{1/T_2 + 1/T_3}{2} \right]$	$\frac{1/T_1 - 1/T_3}{2}$
....	....	....	....
$Q_i$	$T_i$	$\left[ 1 - \frac{1/T_{i-1} + 1/T_i}{2}, 1 - \frac{1/T_i + 1/T_{i+1}}{2} \right]$	$\frac{1/T_{i-1} - 1/T_{i+1}}{2}$
...	...		
$Q_N$	$T_N$	$\left[ 1 - \frac{1/T_{N-1} + 1/T_N}{2}, 1 \right]$	$\frac{1/T_{N-1} + 1/T_N}{2}$

Donde  $\Delta F_Q(Q_i) = F_Q(Q_{i+}) - F_Q(Q_{i-})$ , 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:

$$F_Q(Q_{i-}) = \frac{\left(1 - \frac{1}{T_i}\right) + \left(1 - \frac{1}{T_{i-1}}\right)}{2} = 1 - \frac{\frac{1}{T_i} + \frac{1}{T_{i-1}}}{2}$$

$$F_Q(Q_{i+}) = 1 - \frac{\frac{1}{T_i} + \frac{1}{T_{i+1}}}{2}$$

Donde  $T_i$  es el periodo de retorno de la crecida promedio anual  $i$ . En la tabla anterior, cada una de las  $N$  crecidas promedio anuales se consideran representativas de un rango definido por un límite inferior denominado  $Q_{i-}$ , y un límite superior  $Q_{i+}$ .

Por lo tanto, el beneficio esperado quedaría expresado por la siguiente ecuación:

$$VE(B) = \sum_j \left( F_Q(Q_{i+}) - F_Q(Q_{i-}) \right) * B(Q_i)$$

$$VE(B) = \sum_j \left( \frac{\frac{1}{T_{i-1}} + \frac{1}{T_{i+1}}}{2} \right) * B(Q_i)$$

## ANEXO 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. E 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.

**TABLA 18.** DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDADES EMPLEADAS EN HIDROLOGÍA

Nombre	Función de Densidad y/o de Probabilidad Acumulada	Estimación de Parámetros más usada
Frecuencia Empírica propuesta por Weibull	$P(X \leq x_k) = \frac{m_k}{N + 1}$	<p><math>x_k</math> es el cuantil de interés o valor observado</p> <p><math>m_k</math> es el número de orden del cuantil. Los cuantiles o valores</p>

		<p>observados deben ser ordenados en orden ascendente.</p> <p>N es el número de datos observados</p>
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	$f(x) = \frac{1}{\alpha \times \Gamma(\beta)} \left(\frac{x}{\alpha}\right)^{\beta-1} \exp\left\{-\left(\frac{x}{\alpha}\right)\right\}$	$\beta = \frac{\bar{x}^2}{S_x^2}; \quad \alpha = \frac{S_x^2}{x}$

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 crecidas promedio anuales, es posible realizar ajustes que permitan obtener y caracterizar el periodo de retorno, 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,

$N$  = número de valores observados

$K$  = número de intervalos considerados

$O_i$  = valor  $i$  observado de la variable

$E_i$  = valor estimado por la función de probabilidad testeada

$G$  = número de parámetros estimados de la función de distribución (normalmente 2)

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

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

## ANEXO 3

### 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.

- **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.

- **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 m<sup>2</sup>, 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 m<sup>2</sup> y 61-100 m<sup>2</sup>.

**TABLA 19.** SUPERFICIE VIVIENDA TIPO

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

La tabla siguiente muestra la superficie (m<sup>2</sup>) por componente de la casa.

**TABLA 20.** SUPERFICIE M2 POR COMPONENTE

Componente	Superficie de planta (m <sup>2</sup> )
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
<b>Total</b>	<b>61,25</b>

- 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.

**TABLA 21.** CLASIFICACIÓN DE PISOS

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.

**TABLA 22. PISO POR SUPERFICIE**

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	$0,37\% * 61,25 = 0,23$
<b>Total</b>	<b>61,25</b>

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.

**TABLA 23. MATERIALIDAD DE MUROS**

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 m<sup>2</sup>, 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.

**TABLA 24. MATERIALIDAD DE MURO Y SUPERFICIE**

Tipo de material muro	Superficie (m2)
<b>Muro interior</b>	<b>93,19</b>
Tabique madera volcanita P. (yeso cartón)	93,19
<b>Muro exterior</b>	<b>71,68</b>
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)	$0,08\% * 71,68 = 0,057$

- **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.

**TABLA 25. VALORACIÓN DE COMPONENTES DE LA VIVIENDA TIPO**

Componente	Cantidad (unidad/m <sup>2</sup> /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 cubió 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:

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

- ***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.

**TABLA 26. DAÑO SEGÚN ALTURA DE INUNDACIÓN**

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.

**TABLA 27. DAÑO EVITADO SEGÚN ALTURA SIMULADA**

Altura (cm)	Beneficio (UF)	Daño
$> 0 \text{ y } \leq 20$	0	No hay problema de inundación al interior de la vivienda
$> 20 \text{ y } \leq 30$	15,8	Se inundan los pisos al interior de la vivienda
$> 30 \text{ y } \leq 60$	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