



# **METODOLOGÍA DE PREPARACIÓN Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS DE DEFENSAS FLUVIALES**

**División de Evaluación Social de Inversiones**

2013

<b>Introducción .....</b>	<b>3</b>
<b>1 Teoría sobre la cual se basa la metodología .....</b>	<b>4</b>
1.1 Definición de costos y beneficios .....	4
1.2 Identificación de beneficios .....	4
1.3 Identificación de costos .....	4
1.4 Horizonte de evaluación .....	4
1.5 Indicadores.....	5
<b>2 Preparación de proyectos.....</b>	<b>7</b>
2.1 Análisis de antecedentes.....	7
a) Antecedentes hidrológicos.....	7
b) Antecedentes topográficos y geomorfológicos.....	7
c) Áreas de inundación .....	7
2.2 Diagnóstico.....	7
2.3 Optimización de la situación actual.....	8
2.4 Alternativas de proyectos .....	8
2.5 Preselección de alternativas .....	8
<b>3 Evaluación del proyecto .....</b>	<b>9</b>
3.1 Descripción de beneficios y costos .....	9
3.2 Estimación de los beneficios.....	9
a) Beneficios directos .....	9
b) Beneficios Indirectos .....	9
c) Beneficios Intangibles .....	10
3.3 Estimación de los costos .....	12
3.4 Cálculo de indicadores .....	12
<b>4 Presentación del documento.....</b>	<b>14</b>
<b>Anexo N° 1: .....</b>	<b>15</b>

## Introducción

Los proyectos de defensas fluviales tienen por finalidad prevenir las inundaciones, producto de las crecidas de los caudales de ríos debido al régimen de precipitaciones abundante como de deshielos.

Las inundaciones y desbordes fluviales pueden tener consecuencias socioeconómicas graves en la medida que afecten asentamientos humanos, centros de producción agrícola o industrial e infraestructura vial.

Entre las alternativas de obras de defensas fluviales se pueden mencionar:

- Limpieza y rectificación del cauce
- Obras de construcción de defensas fluviales
- Obras de canalización
- Obras de abovedamiento.

Como soluciones de mayor envergadura, existen también obras a nivel de cuenca, que involucran el control y regulación de los caudales de escurrimiento, tales como embalses y sistemas de interconexión de hoyas hidrográficas.

La metodología que se presenta a continuación se aplica para determinar la rentabilidad y período de retorno de diseño de inversiones en obras de defensas fluviales.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Trabajo basado en "Metodología para el estudio y evaluación económica de proyectos de defensa fluvial - aplicación al río Cachapoal entre Rancagua y Doñihue"; L. Ayala, J.C. Ayala, R. Cisneros. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile 1986.

## **1 Teoría sobre la cual se basa la metodología**

### **1.1 Definición de costos y beneficios**

Con el objeto de evaluar la conveniencia de materializar proyectos de defensas fluviales, se deben estimar los beneficios y costos asociados a su ejecución y su posterior operación.

La diferencia de beneficios y costos entre las alternativas de proyectos y la situación sin proyecto, permitirán obtener los beneficios y costos atribuibles a cada solución estudiada.

La metodología se basa en el cálculo del VAN para diferentes alternativas de diseño de obra, las que evitan los daños producidos por una crecida cuya magnitud está asociada a un período de retorno (T).

El cálculo se hace para una serie de beneficios producidos en un tiempo probabilístico.

### **1.2 Identificación de beneficios**

Los beneficios asociados a estos proyectos están constituidos básicamente por la disminución de daños materiales debido a la construcción de obras y a la recuperación de terrenos en las riberas.

Los tipos de daños evitables varían de acuerdo al proyecto, pero en general se pueden clasificar en los siguientes:

Reducción del gasto publico en:

- Reparación o reposición de puentes
- Reposición y conservación de vías
- Reparación y mantenimiento de áreas verdes
- Limpieza de áreas públicas (calles, tuberías de alcantarillado, etc.)
- Evacuación y mantención de familias afectadas por inundaciones
- Reducción en Pérdidas de Producción Agrícola y/o Ganadera
- Reducción de Pérdidas de Propiedad Privada (vivienda, mobiliario, vehículos, establecimientos comerciales, industriales, etc.).

### **1.3 Identificación de costos**

Los costos están constituidos básicamente por las inversiones necesarias para la ejecución del proyecto y por los costos asociados a la mantención posterior de las obras.

### **1.4 Horizonte de evaluación**

El horizonte de evaluación corresponde a los años de vida útil económica del proyecto. Si el horizonte de evaluación es mayor a la vida útil técnica del proyecto, se debe considerar una

re inversión en el período que corresponda; de lo contrario, si es menor a la vida útil técnica, se debe considerar un valor residual de la obra. Se sugiere sin embargo, no usar horizontes de evaluación superiores a 30 años.

### 1.5 Indicadores

La conveniencia de ejecutar o no un proyecto puede determinarse comparando los beneficios y costos de cada alternativa de proyecto con los beneficios y costos de la situación elegida como base optimizada.

Este análisis permite construir flujos de costos y beneficios diferenciales para cada alternativa en diferentes períodos de tiempo.

A su vez permite calcular el valor actual neto (VAN), de acuerdo a la siguiente expresión:

$$VAN = \sum_{i=0}^n \frac{B_i - C_i}{(1+r)^i}$$

donde:

- $B_i$  = beneficio del período  $i$
- $C_i$  = costo del período  $i$
- $i$  = período
- $n$  = vida útil del proyecto
- $r$  = tasa de descuento

Si el valor actual neto de las alternativas analizadas resulta negativo, la situación base se transforma en alternativa de solución a los problemas detectados, y conviene económicamente su materialización.

Es necesario señalar que la situación base puede no ser la situación actual. En este sentido, será necesario enfatizar todas las modificaciones que deberán efectuarse a la situación actual para llegar a la situación optimizada, usada en el proceso de comparación de beneficios y costos.

También es importante señalar que además de las conclusiones que se pueden obtener del indicador de rentabilidad VAN, se debe tomar en consideración todos los beneficios que no fue posible medir, en el momento de tomar la decisión sobre la ejecución del proyecto.

Se sugiere calcular, además, la relación VAN/I, la que indica el aporte que hace cada unidad monetaria invertida en el proyecto a la comunidad. Sin embargo, su mayor utilidad, radica en que permite priorizar inversiones de un mismo sector.

El momento óptimo de ejecutar estos proyectos puede estimarse a partir del criterio VAN el cual deberá calcularse además suponiendo que la inversión se desplaza un período más. Si el VAN de hacerlo en el período calculado originalmente es mayor que el de postergarlo un período, entonces se ha demostrado que el proyecto debe materializarse a la brevedad posible. Por otra parte, si el VAN de postergar el proyecto es mayor significa que este debe postergarse y en tal

caso deberá calcularse el VAN de postergar el proyecto dos períodos y así sucesivamente hasta que se encuentre la relación:

$$VAN_{(n)} > VAN_{(n+1)}$$

donde n y n+1 representan los últimos flujos considerados en los perfiles del proyecto.

## **2 Preparación de proyectos**

### **2.1 Análisis de antecedentes**

Para llevar a cabo un proyecto de defensas fluviales es fundamental contar con antecedentes hidrológicos, topográficos y geomorfológicos. Así también se requerirá antecedentes sobre inundaciones anteriores, daños provocados, zonas afectadas, etc.

Para recopilar esta información se puede acudir a las Municipalidades, ENDESA, Dirección General de Aguas (MOP), Dirección Meteorológica de Chile (FACH), Departamento de Obras Fluviales del nivel regional-MOP, Empresas Nacionales de Obras Sanitarias, Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Instituto Geográfico Militar, o en cualquier otro organismo público o privado que pudiese tener información de utilidad para el estudio.

#### **a) Antecedentes hidrológicos**

Se debe contar con un estudio hidrológico del río, con el fin de determinar los caudales de diseño, que definirán el dimensionamiento apropiado de las obras.

Para ello se aplicarán diferentes metodologías de análisis de acuerdo a la información local y regional disponible, como estadísticas fluviométricas o pluviométricas. Los resultados obtenidos se confrontarán adoptándose finalmente una serie de caudales de crecidas asociados a diferentes períodos de recurrencia. Esos períodos pueden ser de 2, 5, 10, 50 y 100 años.

#### **b) Antecedentes topográficos y geomorfológicos**

Para esto se requiere de estudios realizados de levantamiento aerofotogramétrico y planos topográficos. El estudio geomorfológico caracteriza el suelo y determina su composición, granulometría y grado de compactación. Este estudio junto con el hidrológico, permitirá determinar los principales parámetros de escurrimiento, velocidad y niveles, para los diferentes caudales.

#### **c) Áreas de inundación**

Las verificaciones hidráulicas teóricas, permiten realizar el pronóstico de los ejes hidráulicos bajo diferentes condiciones de caudales. Se deberá delimitar las posibles áreas de inundación en el sector de interés, asociando los períodos de recurrencia de los eventos señalados en el análisis hidrológicos con las probabilidades de ocurrencia de éstos.

### **2.2 Diagnóstico**

Basado en los antecedentes recopilados en la etapa anterior, se deberá realizar un acabado diagnóstico de las condiciones actuales del cauce, describiendo el origen del problema que se desea solucionar.

### **2.3 Optimización de la situación actual**

Esta corresponde a pequeñas inversiones o trabajos que eventualmente podrían mejorar la situación actual o sin proyecto. En general, obras de limpieza y rectificación de cauces pueden constituir un mejoramiento de la situación actual.

### **2.4 Alternativas de proyectos**

En función de los daños que se pretende evitar, se debe plantear la mayor cantidad de alternativas técnicas que den solución al problema.

En estas ideas de proyectos, se plantean soluciones para eliminar los puntos de estrechamiento de cauces, regularización de riberas para mejorar su rugosidad, ampliación general del lecho, construcción de defensas en sectores externos al cauce con el fin de limitar las zonas de inundación, canalización, revestimiento de cauces, dar un nuevo trazado al cauce para dar descarga en otros sectores posibilitando deprimir el eje hidráulico, etc.

### **2.5 Preselección de alternativas**

En general, corresponde en esta etapa utilizar criterios técnicos que restrinjan la materialización física de algunas alternativas.



### **3 Evaluación del proyecto**

#### **3.1 Descripción de beneficios y costos**

En proyectos de defensas fluviales se consideran como beneficios las pérdidas por daños en bienes raíces, bienes muebles, bienes públicos y cultivos, entre otros evitados por el proyecto.

Los costos corresponden a las inversiones necesarias para la ejecución del proyecto y su posterior mantención.

#### **3.2 Estimación de los beneficios**

Se pueden distinguir tres tipos de beneficios derivados del control fluvial: beneficios directos, indirectos e intangibles.

##### **a) Beneficios directos**

Los beneficios directos provienen de los daños resultantes del contacto directo del agua con las diferentes propiedades en la zona afectada. El monto de estos daños será equivalente a la suma necesaria para la recuperación de los bienes involucrados, devolviéndoles las condiciones que tenían antes de la catástrofe.

Si la reconstrucción o restauración es físicamente imposible de realizar, se considera como beneficio el valor presente de la productividad esperada, en el caso que no hubiera sucedido el evento. Este es el típico ejemplo de destrucción de siembras y cultivos, pérdidas de ganado y daños industriales, entre otros.

Los daños urbanos directos están dados por el costo de construcción. Para propiedades destruidas totalmente, se considera el valor que tenían en el mercado, antes de la inundación.

Habrán beneficios adicionales, una vez realizadas las obras fluviales, tales como revalorización de los terrenos o propiedades al mejorar el nivel de seguridad frente a inundaciones y recuperación de terrenos que fueron playa de río.

##### **b) Beneficios Indirectos**

Los beneficios indirectos son los que reflejan el impacto del proyecto en el resto de la economía. Se puede citar entre los daños evitables la interrupción de faenas en la industria, en el transporte, en las comunicaciones y los gastos de emergencia en que se incurre para el salvataje, etc.

Una de las principales dificultades que se presenta en la evaluación de los daños indirectos es la definición de los límites entre los que la inundación afecta a la cadena productor-consumidor. Realizar un pronóstico de daños indirectos es bastante especulativo, pues existen muchas variables difíciles de manejar. Es por ello que para realizar una estimación previa, se requiere contar con registros de daños indirectos en inundaciones anteriores.

### c) Beneficios Intangibles

Se define como beneficios intangibles a todos aquellos de difícil cuantificación y valoración.

Entre estos beneficios se pueden mencionar:

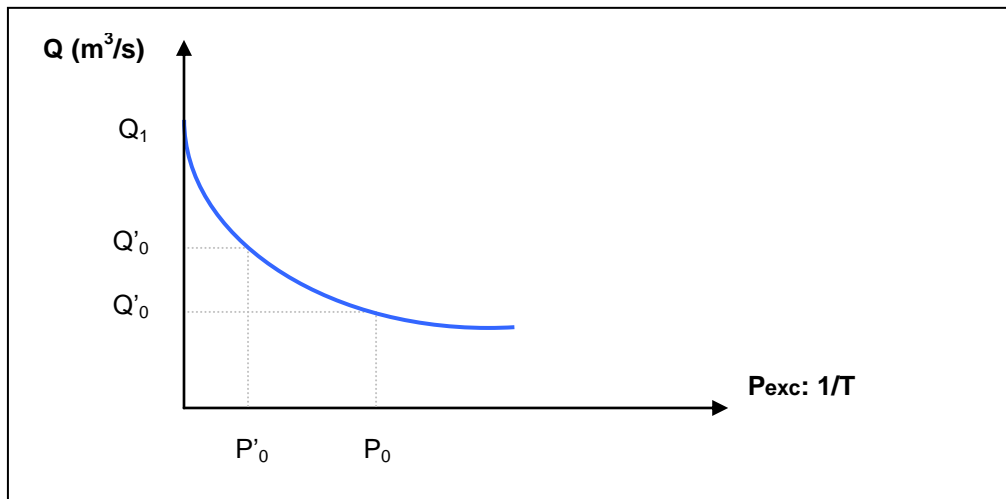
- evitar pérdidas de vidas humanas
- mejorar el bienestar y seguridad
- mejorar condiciones sanitarias

En general, la magnitud de los daños producidos en una inundación depende de múltiples factores siendo los más importantes: altura media de agua y/o altura local de agua en la zona inundada, velocidad de escurrimiento, época del año en que sucede la inundación, tiempo transcurrido desde la inundación anterior (frecuencia) y duración de las mismas. Estas pueden ser evaluadas solamente si se cuenta con registros estadísticos de inundaciones anteriores, ya que a partir de ellos se podría elaborar curvas de daños versus factores determinantes.

Los beneficios que se obtengan con la ejecución del proyecto, dependen directamente de los caudales que se presenten año a año, así como también de la capacidad del cauce con defensas (período de retorno de diseño) y su vida útil.

Surge así el problema de como estimar los beneficios futuros, si no se sabe a priori la magnitud de los caudales que se pueden presentar.

A partir de curvas de caudales máximos anuales en función de la probabilidad de excedencia<sup>2</sup>, (Gráfico N°1) y de daños en función de los caudales, (Gráfico N°2), se puede llegar a curvas de daños - probabilidad de excedencia, (Gráfico N°3).

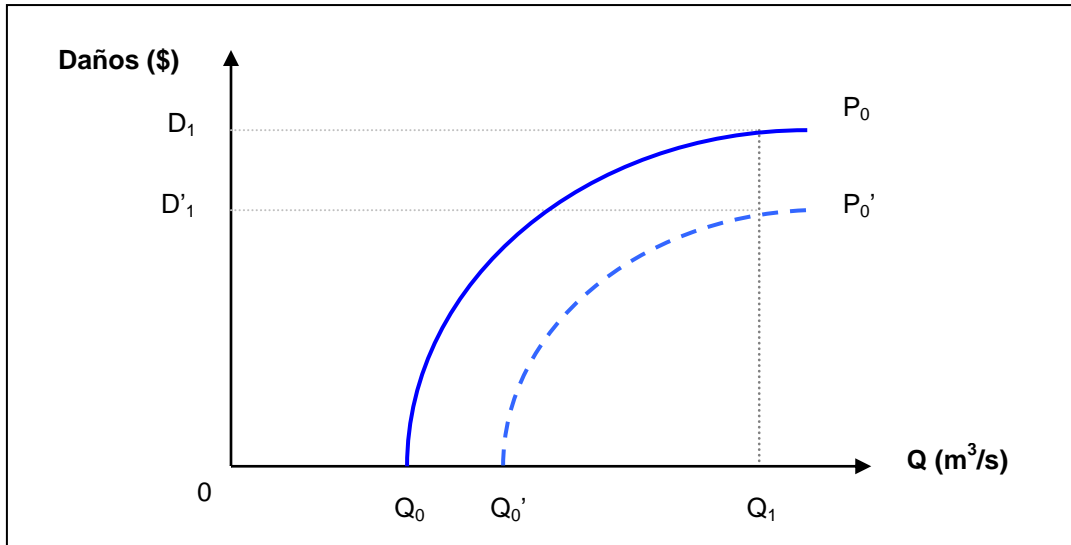


**Gráfico N°1:** Caudales máximos anuales versus probabilidades de excedencia.

---

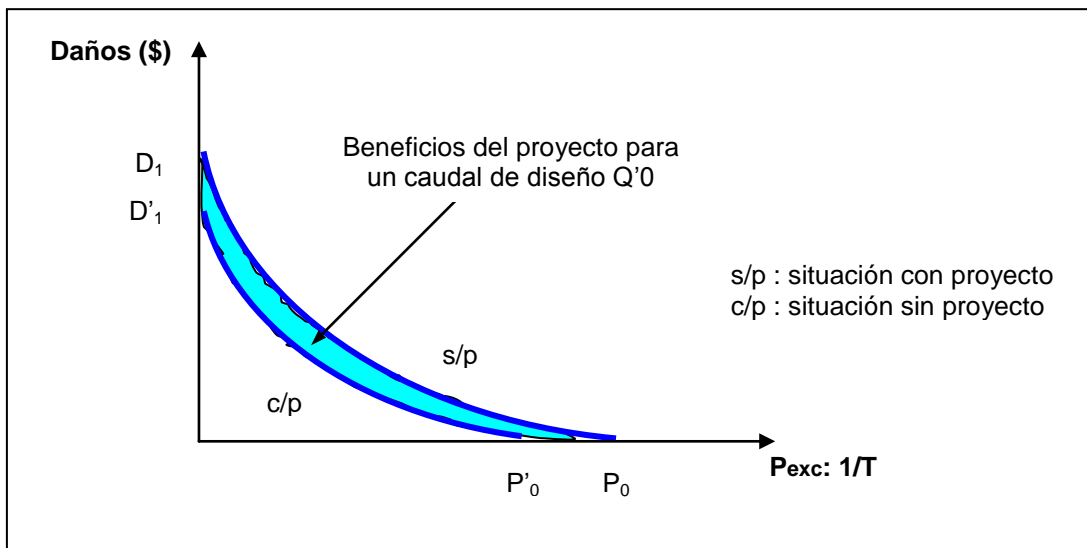
<sup>2</sup> La probabilidad de excedencia de una crecida de cierto caudal y magnitud dado corresponderá al inverso de su período de retorno(T).

En el gráfico N°2 se observa que los daños por inundación se empiezan a presentar a partir del caudal  $Q_0$ , que representa la capacidad natural del cauce y lleva asociada una probabilidad de excedencia  $P_0$ .



**Gráfico N°2:** Curva de daños en función de los caudales de diseño (situación con y sin proyecto)

Las pérdidas anuales por desbordes fluviales en situación **sin proyecto**, pueden ser calculadas como la esperanza matemática de los daños; multiplicando, a partir de la relación daños - probabilidad de excedencia, el incremento de probabilidad asociado a cada nivel de inundación por el monto de los daños correspondiente. De la suma de todos estos resultados se obtiene el monto de pérdidas anuales esperado. Esto corresponde al área bajo la curva  $D_1P_0$  en el gráfico N°3.



**Gráfico N°3:** curvas de daños versus probabilidades de excedencia (situación con y sin proyecto)  
Con un dimensionamiento de obra definido para soportar crecidas mayores que la de la capacidad natural del cauce, se puede confeccionar otra curva de daños en función del caudal (Gráfico N°2), partiendo de  $Q_0'$  que será la nueva capacidad del cauce.

**Con proyecto**, el caudal máximo esperado  $Q_1$ , generará daños  $D_1'$  menores que  $D_1$ , ya que el volumen de agua de desborde se supone que habrá disminuido.

De esta forma, se puede obtener una nueva curva en el Gráfico N°3 entre  $D_1'$  y  $P_0'$ , que tendrá un valor de daños anuales esperado, menor que el de la situación sin proyecto.

Luego para un caudal de diseño,  $Q_0'$ , los beneficios estarán dados por el área  $D_1P_0P_0'D_1'$  del Gráfico N° 3.

Se puede así construir curvas de daños - probabilidad de excedencia para distintos dimensionamientos de obra (período de retorno de diseño).

### 3.3 Estimación de los costos

Los costos asociados a estos proyectos son básicamente los costos de inversión y los costos de mantenimiento de las obras.

Se deben estimar los costos de inversión para las diferentes alternativas técnicas consideradas como también para los distintos dimensionamientos de las obras de acuerdo a los períodos de retorno de diseño estudiados.

Los costos de mantenimiento podrían estimarse como un porcentaje de la inversión, dependiendo del tipo de obra.

Para efectos de la evaluación social los montos de inversión deben corregirse para que reflejen el verdadero costo que le significa a la comunidad esta inversión. Los ítemes más importantes a corregir son el precio de la mano de obra y el precio de la divisa o tipo de cambio. El precio social de ambos insumos se obtiene corrigiendo su precio privado de acuerdo a un factor de ajuste proporcionado por el Ministerio de Planificación y , los cuales dependen del año y para el caso de la mano de obra, además del nivel de calificación de esta.

### 3.4 Cálculo de indicadores

#### Valor Actual Neto (VAN)

El valor actual neto del proyecto corresponde a la diferencia entre el valor actualizado de los daños esperados y el costo actualizado de las obras para un período de retorno dado.

$$VAN^T = \sum_{i=1}^n \frac{DE_i}{(1+r)^i} - \left[ I + \sum_{i=1}^n \frac{CC_i}{(1+r)^i} \right]$$

Donde,

$VAN^T$  : Valor actual neto para un período de retorno dado (T)

$DE_i$  : Daños esperados en el período i

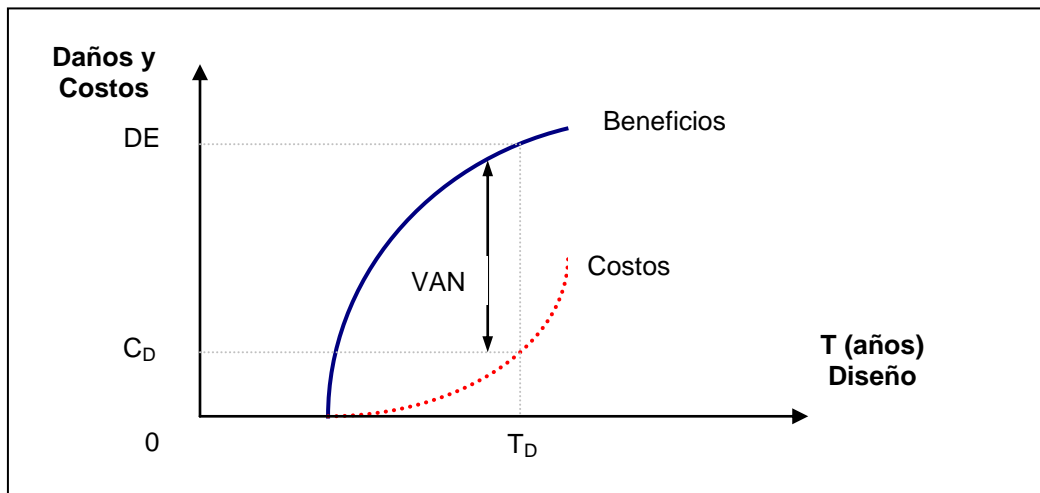
I : Inversión

$CC_i$  : Costo de conservación para el período i

n : Horizonte de evaluación

r : Tasa de descuento

De acuerdo a lo anterior, de la superposición de las curvas de beneficios y costos actualizados en función del período de retorno, se podrá obtener el VAN para distintas alternativas de diseño estudiadas según se indica en el Gráfico N° 4.



**Gráfico N°4:** Beneficios y Costos para diferentes períodos de retorno

Aquel período de retorno que maximice el VAN, corresponderá entonces, al diseño óptimo, seleccionando de este modo la alternativa de obra fluvial más conveniente.

En anexo N° 1, se presenta a modo de ejemplo la evaluación económica de un diseño de defensas fluviales.

#### 4 Presentación del documento

La presentación del proyecto o estudio resultante debe incluir al menos todos los puntos señalados en la sección **preparación de proyectos** de esta pauta, agregando un primer capítulo llamado “Resumen y Conclusiones” donde se presente una síntesis de los aspectos más relevantes del estudio, de modo que sea autosuficiente para entender todo el proyecto y en especial la situación problema que se quiere resolver.

Con respecto a la forma de presentación del documento que contiene el detalle del estudio de preinversión, se señalan algunas indicaciones básicas tales como:

- Todas las cifras monetarias deben expresarse en moneda de un mismo momento del tiempo (inclusive el tipo de cambio utilizado).
- En todo cuadro, figura o tabla debe indicarse el respectivo título y fuente de información.
- La numeración tanto de tablas, cuadros y/o figuras debe ser por capítulos.
- Se debe señalar al final del texto la bibliografía utilizada en el estudio.

Las referencias a textos o estudios dentro del documento mismo deben hacerse con un número que se explicará a pie de página.

**Anexo N° 1**  
**Caso práctico de evaluación**

A modo de ejemplo, se presenta a continuación, la evaluación económica de un diseño de defensa fluvial, para un período de retorno de 1 en 200 años.

El caudal de diseño para este período de retorno es de 1.600 m<sup>3</sup>/s.

Los daños que provocarán los caudales de crecidas de diferentes períodos de retorno son:

Período de retorno (años)	Caudal m <sup>3</sup> /s	Valor de los daños \$x10 <sup>6</sup>
5	520	-
10	850	0
25	1.180	414
50	1.300	414
100	1.450	414
200	1.600	414

Con estos antecedentes se puede calcular el daño esperado.

Período de retorno (años)	Probabilidad de excedencia	Daños \$ x 10 <sup>6</sup>	$\frac{D_i + D_{i-1}}{2} \Delta P$
5	0,200	0	-
10	0,100	0	0,00
25	0,040	414	12,42
50	0,020	414	8,28
100	0,010	414	4,14
200	0,005	414	2,07
<b>TOTAL</b>			<b>26,81x10<sup>6</sup></b>

Luego, los beneficios anuales corresponderán a los daños evitados de \$ 26,81 x 10<sup>6</sup>.

Considerando una vida útil de 30 años y una tasa social de descuento de un 12%, el beneficio actualizado será:

$$26,81 \times 10^6 \times \frac{(1+r)^n - 1}{(1+r)^n \times r} = \$216 \times 10^6$$

Para un caudal de diseño correspondiente a un período de retorno de 200 años se llegó a un costo total de obras de \$ 96x10<sup>6</sup>.

Por lo tanto,

$$VAN = 216 \times 10^6 - 96 \times 10^6 = \$120 \times 10^6$$

Repitiendo este análisis para otros períodos de retorno, se podrá obtener el diseño de obra que maximiza el VAN.