



**GOBIERNO DE CHILE  
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS  
DIRECCIÓN DE PLANEAMIENTO**

**“ANÁLISIS Y VALORACIÓN DE LA  
FUNCIONALIDAD DE LA RED  
FLUVIOMÉTRICA Y ASIGNACIÓN DE  
DERECHOS DE APROVECHAMIENTO”**

**INFORME FINAL**

**DICIEMBRE 2006**



## INDICE

I.	INTRODUCCIÓN. ....	1
II.	METODOLOGÍA ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO. ....	5
II.1.	Antecedentes generales. ....	5
II.2.	Marco teórico. ....	6
II.3.	Medición de beneficios de la Red Hidrométrica Nacional (RHN). ....	11
II.3.1.	Beneficios asociados a decisiones de inversión. ....	12
II.3.2.	Beneficios asociados a decisiones de operación (gestión). ....	15
II.3.3.	Beneficios asociados a decisiones de mitigación de pérdidas. ...	17
II.4.	Aspectos metodológicos en el análisis de costos. ....	18
II.5.	Aspectos metodológicos en la evaluación del programa de mejoramiento de la Red de Calidad de Aguas. ....	20
II.6.	Aspectos metodológicos en la evaluación actual de la RHN. ....	20
III.	PLAN DE MEJORAMIENTO DE LA RED HIDROMETRICA NACIONAL. ....	22
III.1.	Mejoramiento de la Red Fluviométrica. ....	23
III.2.	Mejoramiento de la Red Hidrometeorológica. ....	25
III.3.	Mejoramiento de la Red de Calidad de Aguas. ....	27
IV.	ANALISIS COSTO-BENEFICIO DE LA RED HIDROMETRICA NACIONAL. ....	30
IV.1.	Evaluación propuesta programas de mejoramiento de la RHN. ....	31
IV.1.1.	Programa de mejoramiento: Cambio registro analógico a digital en la Red Fluviométrica. ....	33
IV.1.2.	Programa de mejoramiento: Aumento de densidad de la Red Fluviométrica y Red Hidrometeorológica. ....	40
IV.1.3.	Programa de mejoramiento: Captura de datos en tiempo real - Red Fluviométrica y Red Hidrometeorológica. ....	54
IV.1.4.	Programa de mejoramiento: Red de Calidad de Aguas. ....	69
IV.1.5.	Evaluación de la Red Actual. ....	73
V.	ASPECTOS INSTITUCIONALES Y FINANCIAMIENTO. ....	75
V.1.	Características económicas. ....	75
V.2.	Externalización de los servicios asociados a la RHN. ....	78

V.2.1. Aspectos económicos.....	78
V.2.2. Aspectos legales. ....	81
V.3. Relación de la DGA con otras redes. ....	81
VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES.....	84

## I. INTRODUCCIÓN.

Producto del avance en el desarrollo económico del país, las actividades que requieren agua como insumo crecen cada vez más en número e intensidad, por lo que una evaluación de la calidad y cantidad disponible del recurso hídrico resulta cada vez más exigente, debiéndose contar para ello con mayor y mejor información.

La gestión de los recursos hídricos en Chile se encuentra bajo el marco que define el Código de Aguas. En él se establecen una serie de obligaciones a la Dirección General de Aguas (DGA), organismo del Estado dependiente del Ministerio de Obras Públicas (MOP), relativas a la caracterización de la disponibilidad y calidad del agua. Para ello, la DGA levanta información por medio del Servicio Hidrométrico Nacional (SHN), cuya función es generar las estadísticas relevantes para la caracterización del recurso hídrico terrestres.

El SHN<sup>1</sup> lo compone la Red Hidrométrica Nacional (RHN) y los sistemas que permiten el almacenamiento y manejo de la información, tales como el Banco Nacional de Aguas (BNA), el Sistema de Gestión para la Gestión Integrada del Recurso Hídrico (SIGIRH), y el Centro de Información de Recurso Hídricos (CIRH).

La información hidrométrica<sup>2</sup> se recolecta a través de la Red Hidrométrica Nacional (RHN), compuesta por redes específicas que miden distintos parámetros de interés<sup>3</sup>. Estas corresponden a:

- Red Fluviométrica.
- Red Hidrometeorológica.
- Red Sedimentométrica.
- Red de Medición de Nieves y Glaciares.
- Red de Control de Aguas Subterráneas (pozos).

---

<sup>1</sup> El Servicio Hidrométrico Nacional (SHN) no ha sido formalmente definido. Lo que se presenta en este documento corresponde a lo que se entiende implícitamente por SHN, y que resulta de considerar los diferentes elementos que coexisten para cumplir con el objetivo definido para el sistema, tales como la Red Hidrométrica, el sistema de de gestión, y el centro de información.

<sup>2</sup> En este documento se utilizará información hidrométrica como sinónimo de información hidrológica y/o meteorológica,

<sup>3</sup> Un caso particular lo constituyen las redes hidrometeorológicas, que miden variables tales como humedad, temperatura, horas de sol, etc.

- Red de Calidad de Aguas.
  - Red de calidad de aguas superficiales.
  - Red de calidad de aguas subterráneas.
  - Red de control de lagos.

La operación de la RHN corresponde a la DGA. Esta red recoge información de distintos parámetros, que se registran en una base de datos a través del sistema computacional Banco Nacional de Aguas (BNA). En este sistema, el cual también es administrado y mantenido por la DGA, se analiza, procesa y almacena la información obtenida desde la RHN.

La información es dispuesta para su uso a través del CIRH, quien se encarga de acopiarla, preservarla y difundirla.

Se estima que la mantención y generación de datos por medio de la RHN genera beneficios sociales no cuantificados, por tanto, la justificación social del SHN y de la RHN, en términos económicos, no ha podido del todo determinarse.

En este contexto, la Dirección de Planeamiento del Ministerio de Obras Públicas encarga este estudio que, según los Términos de Referencia, tiene como objetivo general una evaluación costo-beneficio de los servicios prestados por la RHN.

A partir de lo anterior el producto final del estudio considera establecer recomendaciones generales sobre la red que se vean reflejadas en un programa de mejoramiento.

La organización de este documento contempla 8 capítulos de los cuales el primero corresponde a esta introducción.

En el capítulo II se presenta la metodología de análisis costo-beneficio utilizada en la evaluación de los programas de mejoramiento que se proponen en este estudio. Se presenta un marco teórico sobre decisiones bajo incertidumbre para luego entrar de lleno a los métodos de estimación de beneficios. Esta metodología se basa en considerar que el principal objetivo de la Red Hidrométrica Nacional es proveer estadísticas relativas a medición de caudales, temperaturas, etc., que son utilizadas en los procesos de toma de decisiones. Es así como se distinguieron las decisiones asociadas a inversión, operación (gestión) y mitigación de pérdidas, que se sirven de la información que provee la red. En cada caso se confeccionó una metodología para estimar los beneficios de contar con mediciones, las que consideran el impacto monetario de reducir la incertidumbre (error) asociada a la estimación de ciertas variables y/o parámetros

utilizados por los agentes en su proceso de toma de decisiones, producto de contar con información estadística de calidad.

Adicionalmente, se presenta la metodología utilizada para la evaluación de la red actual, que se basa en comparar el escenario de continuidad de operación de la red con el de no hacerlo. En este último caso, se dejaría de recolectar información, con la correspondiente pérdida de calidad estadística. En la práctica, se sugiere comparar las pérdidas de precisión en las variables de diseño en obras de infraestructura, versus los costos de seguir realizando las mediciones.

En el capítulo III se propone un plan de mejoramiento para la RHN, específicamente en la Red Fluviométrica, Red Hidrometeorológica y la Red de Calidad de Aguas. Cada una de estas redes fue sometida a una revisión y análisis, considerando estudios existentes, criterios del consultor y experiencia internacional, de forma tal de definir ciertos mejoramientos específicos. Estos tienen que ver con transformar estaciones con registro analógico a registro digital, implementar estaciones con tecnología de transmisión de datos satelital, y la ampliación del número de estaciones. Cada una de estas mejoras fue costeadada, previo análisis de la situación actual de la RHN.

En el capítulo IV se presenta el análisis costo-beneficio propiamente tal, para lo cual se procedió en primer lugar a la agrupación de ciertos mejoramientos de la red. En consecuencia, cada mejora individual dio forma a los siguientes programas:

- Cambio registro analógico a digital en la Red Fluviométrica.
- Aumento densidad de la Red Fluviométrica y Red Hidrometeorológica.
- Captura de datos en Tiempo Real en la Red Fluviométrica y Red Hidrometeorológica.
- Mejoramiento Red de Calidad de Aguas.

Adicionalmente se realizó un ejercicio de evaluar económicamente la situación actual de la red, bajo la metodología definida para estos fines, la cual, como ya se ha dicho, se incluye en el capítulo II de este informe.

En el capítulo V se analiza el aspecto institucional de la RHN, entregando alguna idea sobre cual pudiera ser una alternativa con relación a la actual operación en manos del Estado. Bajo una óptica centrada en las características monopólicas que pudiera tener la generación de información estadística, y distinguiendo que los datos generados, así como también algunos servicios asociados, tienen características de bienes públicos, se visualiza preliminarmente una oportunidad de externalizar alguna parte de la Red. No obstante, un breve análisis legal indicó que puede existir espacio tanto para delegar como para prohibir su traspaso. Lo señalado en este análisis no pasa más allá de revisar los

aspectos más relevantes, por lo que una recomendación fundada al respecto debe ser materia de un estudio particular mucho más profundo.

En el capítulo VI, y último, se presentan las principales conclusiones de este estudio, y la recomendación de implementar inmediatamente los planes de mejoramiento propuestos, ya que todos los indicadores de rentabilidad resultaron extremadamente favorables. Se recomienda en primer lugar comenzar con la implementación de las mediciones de caudales en “tiempo real”, para luego continuar con el aumento de la densidad de la red y el cambio de las estaciones analógicas a digitales.

Otro resultado importante tiene relación con la justificación actual de la red. El escenario de continuidad resultó más conveniente que la alternativa de abandonar las mediciones. Las pérdidas de valor producto de dejar de medir superan en casi 3 veces los costos de seguir operando la red, por lo que la existencia actual de ella está más que justificada.

## II. METODOLOGÍA ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO.

### II.1. Antecedentes generales.

La evaluación económica de los servicios hidrológicos y meteorológicos ha sido materia de interés y de estudio, en especial por parte de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) quien en los años 1990 generó variados documentos sobre los beneficios sociales y económicos de los servicios hidrológicos y meteorológicos, y de técnicas de valoración de costos y beneficios por contar con información hidrológica<sup>4</sup>. Las principales conclusiones obtenidas en ellos apuntan a la dificultad en la medición de beneficios por este tipo de servicios, y como los casos prácticos analizados hasta ese momento arrojaron una elevada relación beneficio/costo, las que sólo se sustentan en la medida que se da crédito a las técnicas de medición de beneficios utilizadas.

En octubre del año 2003, la OMM publica en su Boletín cuatrimestral, tres trabajos relacionados con análisis económicos de servicios hidrológicos, cuyos temas tratados fueron<sup>5</sup>:

- a) Los beneficios socioeconómicos de los servicios hidrológicos y meteorológicos. Los tópicos abordados dicen relación con la importancia de los servicios hidrológicos y meteorológicos, su relevancia para el desarrollo económico de un país, y los esfuerzos y actividades realizadas por la OMM en los últimos 30 años orientadas a incentivar y desarrollar análisis costo-beneficio que den sustento económico a este tipo de servicios. El tratamiento dado contiene una evidente visión cualitativa, concluyendo principalmente que existe una gran necesidad por contar cada vez con un mayor desarrollo metodológico que permita medir en forma práctica los costos y beneficios de estos servicios.
- b) Medidas del valor económico de la información meteorológica. Se exploran las distintas metodologías utilizadas en la valoración económica de la información meteorológica. Específicamente se revisa la medición de beneficios de pronósticos meteorológicos obtenidos

---

<sup>4</sup> Un detalle de estos temas se encuentra en World Meteorological Organization: Economic and Social Benefits of Meteorological and Hydrological Services. Proceedings of the Technical Conference, Geneva, 26-30 March 1990. También en World Meteorological Organization: Cost-Benefit Assessment Techniques and User Requirements for Hydrological Data, WMO-No. 717, 1990.

<sup>5</sup> Mayor detalle se encuentra en World Meteorological Organization: Bulletin Vol. 52 N°4 (October 2003), págs. 354-359, 366-373, y 383-386.

mediante observación de precios de mercado de dichos pronósticos, modelos de decisión Bayesianos, típicos de la teoría de decisiones bajo incertidumbre, metodología de Valuación Contingente, y por último se menciona la metodología de Análisis Conjunto (Conjoint Analysis).

- c) Evaluación de beneficios de servicios meteorológicos en China. Se separaron los servicios meteorológicos en aquellos de carácter público y privado, utilizando diferentes metodologías para cada caso.

La experiencia de la OMM por contar con evaluaciones económicas de los servicios de hidrología y meteorología es amplia y variada. No obstante, la mayor parte de los ejemplos prácticos encontrados corresponden a evaluaciones realizadas para servicios meteorológicos de pronósticos que se basan en la existencia de una red hidrométrica eficiente.

No se ha encontrado evidencia de metodologías que evalúen mejoramientos a la red de medición en sí.

## **II.2. Marco teórico.**

El análisis costo-beneficio de servicios de información, como los planteados en este estudio, representa un campo relativamente nuevo dentro del ámbito de evaluación social de proyectos. Ello surge por la natural dificultad de medir los beneficios de este tipo de actividades, ya que ellas tienen no sólo un carácter privado – medible financieramente – sino que principalmente de carácter social, los que son difíciles de traducir en términos monetarios.<sup>6</sup>

Las principales aplicaciones que han tenido algún éxito en este campo, y que son conocidas por Soluciones Integrales S.A., se relacionan con la determinación de beneficios asociados a servicios de pronósticos de clima.<sup>7</sup> En este contexto se han desarrollado modelos de análisis y aplicaciones que dan cuenta en forma cuantitativa de estos beneficios.

El marco metodológico sobre el cual se han desarrollado la mayor parte de los estudios relacionados con la valoración económica de la información ha sido la

---

<sup>6</sup> Ver WMO (1990), op.cit.

<sup>7</sup> Ver específicamente Katz Richard W. y Allan H. Murphy (eds.): Economic Value of Weather and Climate Forecasts. Cambridge University Press, 1997.

*Teoría de Decisión bajo Incertidumbre.*<sup>8</sup> Bajo este marco la información es vista como un factor clave en la reducción de la incertidumbre en el proceso de toma de decisiones de los distintos agentes económicos. El modelo se basa en el supuesto de que estos agentes tienen la capacidad de confeccionar un ranking único de los resultados asociados a estas decisiones de acuerdo a una función de utilidad individual. El comportamiento discrecional del agente, por lo tanto, se orienta en función de maximizar esa utilidad.

El modelo de decisión se construye a partir de las opciones que enfrenta un determinado agente económico, digamos un usuario de información fluviométrica para fines agrícolas. Este usuario tiene un conjunto de acciones posibles  $a=1,\dots,N$  (que productos sembrar o no, etc.). También él enfrenta un conjunto de posibles estados de la naturaleza  $e=1,\dots,M$ . Estos estados son, en este caso, eventos fluviométricos (o series hidrológicas que establecen ciertas propiedades estadísticas) que determinan la disponibilidad de agua en un momento del tiempo, por ejemplo, en la temporada de riego (o las características estadísticas de disponibilidad esperada), sobre los cuales, naturalmente, este agente no tiene control alguno.

Este agente conoce siempre las consecuencias asociadas a cada acción y cada estado de la naturaleza,  $c(a,e)$ , es decir, que pasará, por ejemplo, si siembra cierto tipo de productos, si desarrolla una determinada obra de infraestructura, y si dispone de riego suficiente o no. Este conocimiento y las expectativas económicas, o de cualquier otro tipo, que el agente tiene asociadas a estas consecuencias, le permite ordenar las mismas en una escala que refleja la utilidad del agente. Esto es, él es capaz de determinar una ordinalidad de cada par  $c(a,e)$ , denotada  $u[c(a,e)]$ . Este último es un número que representa el grado de preferencia del agente sobre la consecuencia  $c(a,e)$  con respecto al resto de las opciones (resto de los pares ordenados).

El problema de incertidumbre está dado por el hecho de que el agente debe escoger una acción determinada  $a_0$  antes de observar el estado real de la naturaleza (decidir que producir sin conocer con certeza la situación de disponibilidad de agua en la temporada de riego siguiente). Para esto el agente asume una cierta probabilidad de ocurrencia de cada estado de la naturaleza posible,  $p_e$  ( $e=1,\dots,M$ ). Esta probabilidad subjetiva es a priori, y está basada en la información fluviométrica disponible actualmente al agente.

---

<sup>8</sup> Esta presentación se basa en Stanley R. Johnson y Matthew T. Holt: The Value of Weather Information, en Katz y Murphy (1997), op.cit. Ver también: David B. Lawrence: The Economic Value of Information, Springer, 1999.

De esta forma el agente deberá escoger la acción  $a_0$  de manera que la utilidad esperada a esa acción sea máxima, es decir, deberá escoger  $a_0$  tal que satisfaga:

$$(1) \quad E \{u[c(a_0, *)]\} = \max E \{u[c(a, *)]\} = \max \{ \sum_e p_e u[c(a, e)] \}$$

La última igualdad refleja que la esperanza matemática de la utilidad asociada al conjunto de acciones (representado esto último por el asterisco) es dependiente de las probabilidades de ocurrencia de los estados de la naturaleza (eventos fluviométricos).

Estas probabilidades serán modificadas en la medida que el agente disponga de nueva y mejor información. Esta nueva información puede consistir en un conjunto de mensajes meteorológicos,  $j = 1, \dots, J$ , los cuales también están sujetos a una probabilidad  $q_j$  de que lleguen al agente.

Un nuevo y mejor sistema de pronósticos fluviométricos, de disposición de información en tiempo real, o del conocimiento de las propiedades estadísticas de los caudales, puede verse como la entrega directa de una probabilidad posterior de ocurrencia del estado de la naturaleza. De esta forma, se podrá tener una medida del valor de la información entregada por el nuevo sistema de pronósticos meteorológicos al comparar la utilidad esperada del agente antes de contar con la nueva información, con la utilidad esperada, dada la nueva información. Es decir el valor del mensaje  $j$ , está dado por:

$$(2) \quad V_j = E_j \{u[c(a_j, *)]\} - E \{u[c(a_0, *)]\}$$

En este caso, la esperanza del primer término ( $E_j$ ) es respecto de la probabilidad posterior al recibo de la nueva información. El segundo término corresponde al descrito en la ecuación (1).

Este marco metodológico permite cuantificar, al menos en una diferencial de utilidades, el valor que tiene el mejoramiento del sistema de pronósticos meteorológicos para un determinado agente. La transformación a unidades monetarias de esta cuantificación valórica requiere sólo identificar el valor monetario de las utilidades esperadas, las que se pueden asumir corresponden a las ganancias esperadas en el caso de productores, sólo suponiendo que el agente es neutro al riesgo.

La metodología descrita anteriormente se puede visualizar en el siguiente ejemplo, tomado de Katz y Murphy (1997).

Suponga un constructor que debe poner concreto a un área determinada. De haber lluvia él no pavimentará. En la siguiente tabla (conocida como matriz de pagos) se dan los resultados económicos asociados a las posibles decisiones de este agente, ante los posibles estados de la naturaleza:

**Cuadro N°1. Estado del Clima v/s Decisión de Pavimentar.**

Estado del Clima	Decisión	
	No pavimentar	Pavimentar
Llueve	-\$ 250	- \$ 1.000
No llueve	-\$ 250	\$ 1.700

Fuente: Katz y Murphy, Economic Value of Weather and Climate Forecasts, 1997.

Si la probabilidad a priori de lluvia ( $p_{ll}$ ) es 0,26, entonces los resultados esperados asociados a las dos posibles decisiones son:

$$\begin{aligned}
 E\{\text{pavimentar}\} &= p_{ll} * \text{Valor pavimentar con lluvia} + (1 - p_{ll}) * \text{Valor pavimentar sin lluvia} \\
 &= 0,26 * (- \$ 1.000) + 0,74 * \$ 1.700 \\
 &= \$ 998
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E\{\text{no pavimentar}\} &= p_{ll} * \text{Valor no pavimentar con lluvia} + (1 - p_{ll}) * \text{Valor no pavimentar sin lluvia} \\
 &= 0,26 * (- \$ 250) + 0,74 * (- \$ 250) \\
 &= - \$ 250
 \end{aligned}$$

Entonces la mejor decisión del constructor es pavimentar (asumiendo que es neutral al riesgo), con un valor esperado de tal decisión de \$ 998.

Supóngase ahora que este agente tiene opción a un pronóstico de lluvia confiable, dado por un nuevo sistema meteorológico, representado en el siguiente cuadro.

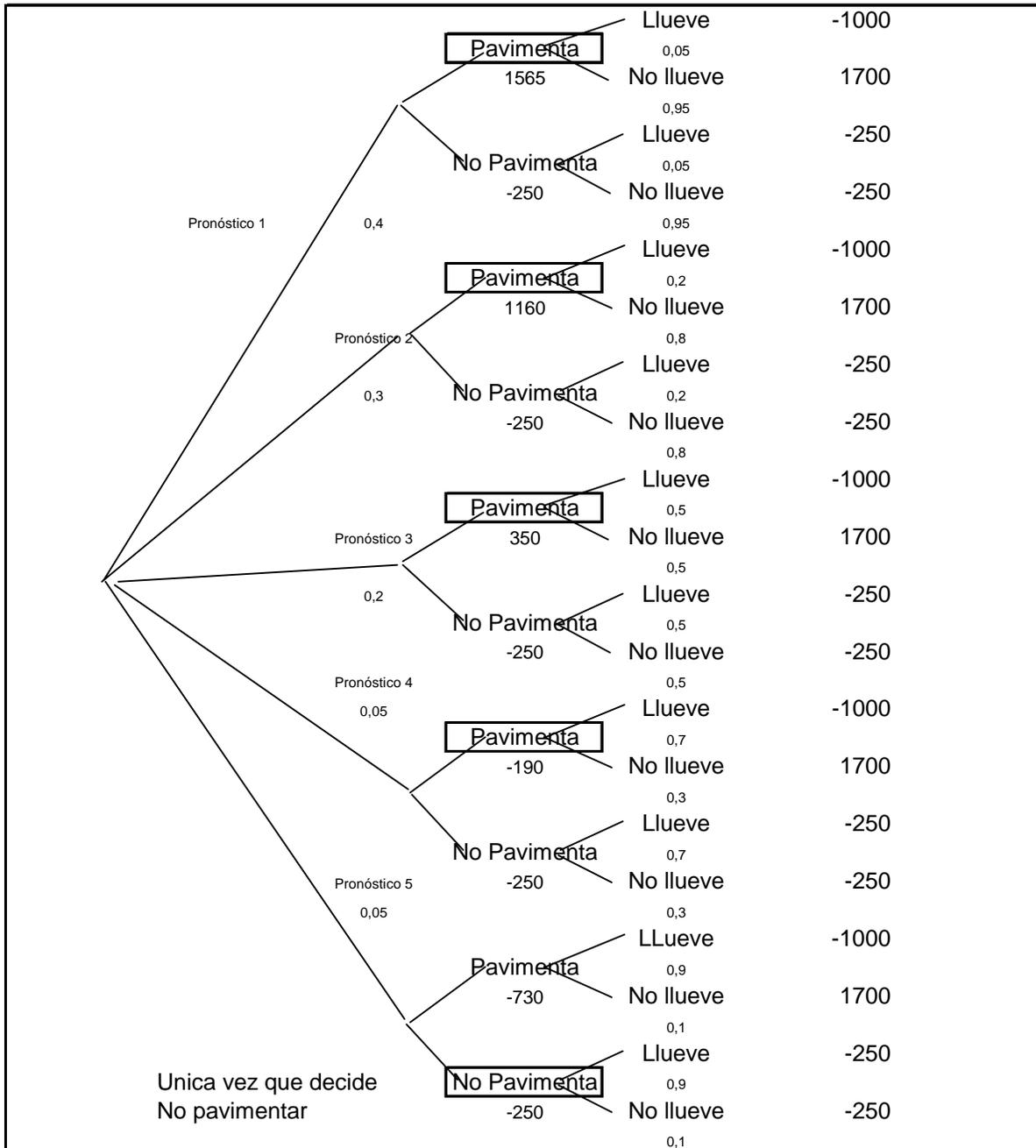
**Cuadro N°2. Probabilidad del Pronóstico.**

Probabilidad de Lluvia	Probabilidad del Pronóstico
0,05	0,40
0,20	0,30
0,50	0,20
0,70	0,05
0,90	0,05

Fuente: Katz y Murphy, Economic Value of Weather and Climate Forecasts, 1997.

Esto origina el árbol de decisión que se muestra en el gráfico siguiente.

**Gráfico N°1. Árbol de decisión de pavimentar según pronóstico de lluvia.**



Fuente: Elaboración Propia basada en el ejemplo de Katz y Murphy (1997).

Dada esta información, la mejor estrategia para el constructor es pavimentar, a menos que el pronóstico de lluvia sea de un 90%. El valor esperado asociado a esta estructura de decisión, dado el informe de pronóstico, es:

$$\text{Valor cartera información} = 0,4*\$1.565 + 0,3*\$1.160 + 0,2*\$350 + 0,05*(-\$190) + 0,05*(-\$250) = \$1.022$$

Esto determina un valor del informe de pronóstico de acuerdo a la ecuación (2) de:

$$\text{Valor del informe de pronóstico} = \$ (1.022 - 998) = \$ 24$$

En primer lugar, el foco del análisis para la valoración de los beneficios son los agentes económicos que utilizan la información proporcionada por el sistema. El modelo supone que ésta información es utilizada para la toma de decisiones respecto de qué, cómo, dónde, cuándo y cuánto producir, invertir o consumir. La información tiene valor en la medida que la utilidad esperada de estos agentes, enfrentados a una situación de incertidumbre, se incrementa.

Las limitaciones de este enfoque son diversas, y se relacionan fundamentalmente con la posibilidad de contar efectivamente con datos confiables respecto de la matriz de pagos de los agentes, así como caracterizar adecuadamente la información que proporciona el sistema.

### **II.3. Medición de beneficios de la Red Hidrométrica Nacional (RHN).**

El Servicio Hidrométrico Nacional (SHN) no sólo produce información asociada a la elaboración de pronósticos. En general, los usuarios y las aplicaciones posibles son amplios y variados.<sup>9</sup> Sin embargo, en todos los casos interesa conocer como la cantidad y calidad de la información que recoge el sistema afecta directamente las decisiones de los agentes que la utilizan, y los costos y beneficios asociados a tales decisiones. En todos ellos interesa caracterizar la naturaleza de la decisión que está involucrada, las opciones disponibles, y establecer las consecuencias de las decisiones que se tomen. El énfasis en este caso está en determinar el posible “costo de falla” que puede resultar de decisiones que se adoptan con información incompleta o poco

---

<sup>9</sup> Ver WMO (1990), op.cit.

confiable, lo que puede generar, por ejemplo, costos por pérdidas de infraestructura, o asignación excesiva o insuficiente de derechos.

Al respecto, resulta natural distinguir las decisiones típicas de las actividades económicas como son aquellas relacionadas con inversión y gestión, así como también las destinadas a la mitigación de pérdidas por situaciones de emergencias. En general, las decisiones relacionadas con inversiones se asocian a los registros históricos en la medida que los diseños de obras utilizan este tipo de información. Las decisiones de gestión tienen relación con información en “tiempo real”, lo que permite el monitoreo de aquellas actividades que hacen uso de ella. Las decisiones orientadas a la mitigación de pérdidas por emergencias están estrechamente relacionadas con la capacidad de realizar pronósticos de eventos extremos. Es evidente que en una obra, actividad, o proyecto, puede presentarse más de una de estas situaciones en forma simultánea.

En cada una de las decisiones antes mencionadas, es frecuente encontrarse con la necesidad de realizar estimaciones de ciertos parámetros o variables específicas que dependen de la información hidrométrica. La naturaleza aleatoria de esta información implica que una menor incertidumbre en dichas estimaciones sea siempre deseable.

La metodología de medición de beneficios asociados a la Red Hidrométrica Nacional intenta medir la reducción de incertidumbre que se produciría con una red de medición mejorada que entregue registros y estadísticas de mayor calidad. En consecuencia, se ha establecido una forma específica de estimación de beneficios por cada tipo de decisión, lo que se detalla en las secciones siguientes.

### *II.3.1. Beneficios asociados a decisiones de inversión.*

Las variables hidrométricas utilizadas en la construcción de obras de infraestructura se resumen, a modo muy simplificado, en una variable de diseño. Esta última puede ser la propia variable hidrométrica, o una transformación de ella mediante modelos o técnicas específicas. Por ejemplo, para el diseño de obras de drenaje de aguas lluvias, o en el diseño de caminos, se utiliza la denominada “lluvia de diseño”, la cual define, en el caso de los colectores de aguas lluvias, su tamaño, y en el caso de diseño de caminos, la dimensión de las obras de saneamiento (cunetas, fosos, contrafosos, etc.). Esta lluvia de diseño se obtiene del examen y análisis de los **registros históricos** de precipitaciones del lugar de interés. Mientras más completo sea el registro, mejor será la estimación de la lluvia de diseño, en el sentido que el error asociado a su estimación se ve reducido producto de contar con mayor información. Como consecuencia de esta reducción

del error en la estimación de la variable de diseño, las dimensiones de las obras serán más afinadas, y sus costos más precisos<sup>10</sup>.

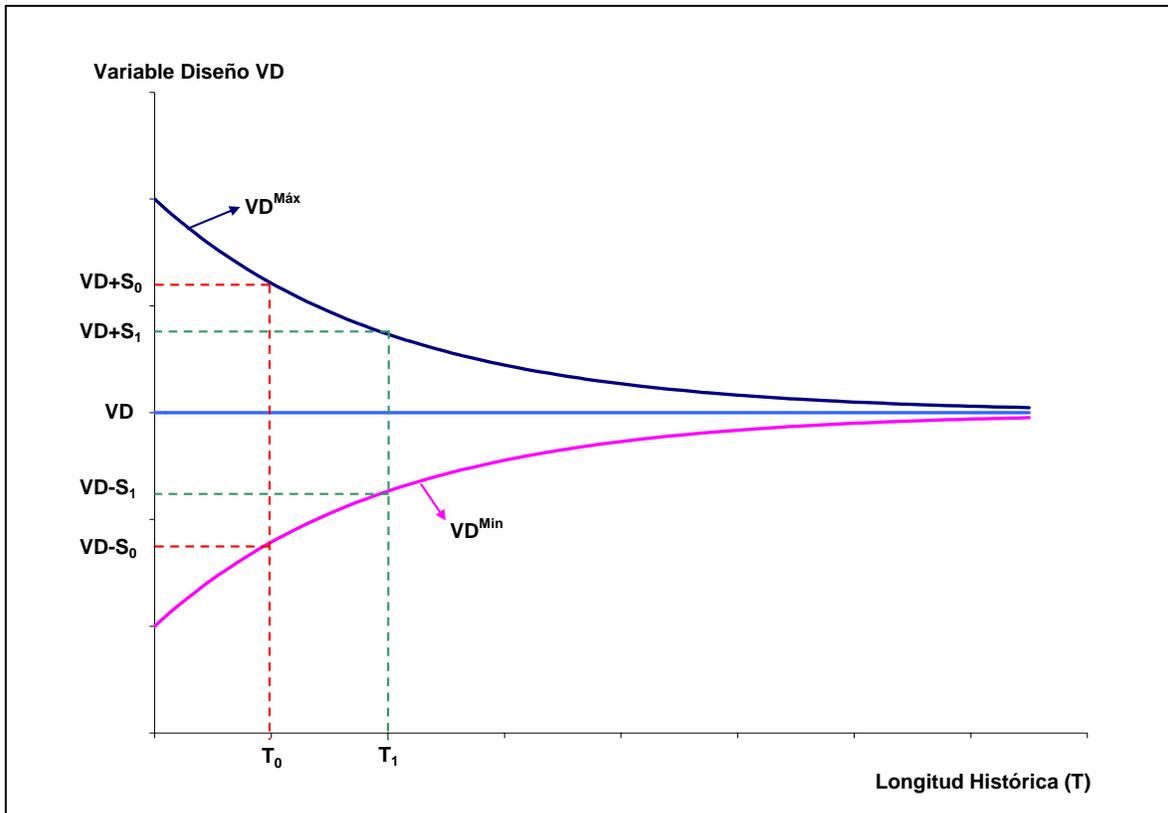
Un mayor registro histórico se logra con un aumento de densidad de la red, o con la implementación de captura digital de información. La primera permite contar con estadísticas en un mayor número de puntos, y la segunda, reduce la potencial pérdida de datos que se produce inevitablemente al realizar registros manuales o analógicos.

Sea VD la variable de diseño de una obra de infraestructura, y VH la variable hidrológica a partir de la cual se obtiene VD(VH). El error asociado a la variable de diseño VD depende, entre otras cosas, de la cantidad de datos históricos de VH. Esto se presenta a modo ilustrativo en el siguiente gráfico. En el eje de las abscisas se incluye la “longitud histórica” de la serie, denominada T, la cual corresponde al número de períodos (años, meses, días u horas) para los que se tiene información. El eje de las ordenadas señala el valor de la variable de diseño VD en función de T. Se han graficado las curvas  $VD(T)=VD$ ,  $VD^{Máx}(T)=VD+S(T)$  y  $VD^{Min}(T)=VD-S(T)$ , siendo S(T) la desviación estándar o estimación del error de VD, que disminuye a medida que aumenta T. Esto equivale a decir que el error de la variable de diseño disminuye a medida que la serie se encuentra más completa. De esta manera, para cada “longitud histórica” se tiene un intervalo de confianza  $[VD^{Máx}, VD^{Min}]$ , el cual se reduce con el aumento del número de datos en la serie (aumento de T).

---

<sup>10</sup> Un error en el diseño tiene como consecuencia adicional cometer errores en el nivel de actividad deseado y por consiguiente en los beneficios asociados al proyecto.

**Gráfico N°2. Variable de Diseño v/s Longitud de la Serie.**



Fuente: Elaboración Propia.

El gráfico muestra que con un cambio desde  $T_0$  a  $T_1$ , lo que implica tener una mayor cantidad de períodos con datos en la serie histórica, se produce una reducción en los valores  $VD^{Min}$  y  $VD^{Máx}$ , pasando de  $VD+S_0$  a  $VD+S_1$  y  $VD-S_0$  a  $VD-S_1$  respectivamente, con  $S_1 < S_0$ . En consecuencia, se genera un beneficio en la medida que la longitud histórica de la serie es mayor, producto de la disminución en el error de la variable de diseño, y por ende en el error del dimensionamiento de las obras.

En general, se entiende que para una variable de diseño con un rango de error definido, se escogerá la que ofrezca mayor seguridad para la obra, esto es, la variable de diseño teórica más un cierto factor de seguridad. Por lo tanto, el beneficio asociado a la reducción de error se hará notar por el lado de la reducción en los costos de inversión al poder disponer de un menor valor en la variable de diseño.

Si  $CI(VD,X)$  corresponde a la función de costos de inversión de la obra asociada a la variable de diseño  $VD$ <sup>11</sup>, creciente con respecto a  $VD$ , y suponemos que el factor de seguridad de la obra es  $S$ , existe un “ahorro” en los costos de inversión ( $A_{CI}$ ) al reducir  $S$  desde  $S_0$  a  $S_1$ , equivalente a:

$$(3) \quad A_{CI} = \text{Abs}[CI(VD+S_0) - CI(VD+S_1)]$$

El “ahorro” en costos de inversión calculado de esta manera corresponderá a los beneficios de obtener mejores variables de diseño producto de contar con series históricas más completas<sup>12</sup>.

Resulta evidente entonces que el trabajo se centra en hacer explícita la función de costos  $CI$  en función de las variables hidrométricas de interés. Lo anterior se materializa por medio de entrevistas con especialistas en el diseño de obras y en el examen de proyectos que contemplen dimensionamientos para diferentes tamaños. De esta forma se busca obtener una medida de la variación en los costos de inversión producto de cambios en la variable hidrométrica (o variable de diseño)<sup>13</sup>.

### *II.3.2. Beneficios asociados a decisiones de operación (gestión).*

Muchas decisiones de operación y mantención que se realizan en la etapa de explotación de los proyectos, están relacionadas con las variables hidrométricas, en particular con la oportunidad con la cual se puede contar con la información. Por ejemplo, una comunidad de aguas, o sociedad de canalistas, de aquellas contempladas en el *Libro II Título III De las Organizaciones de Usuarios* del Código de Aguas, tienen entre sus funciones la distribución de agua, desde sus canales hacia los usuarios, y en las cuotas establecidas por sus derechos de aprovechamiento medidos en términos de caudal. Si la información relativa a los metros cúbicos por segundo del cauce (o canal) se obtiene en “tiempo real”, se reducirán los potenciales errores en la entrega de agua a los usuarios por contar con información “atrasada”, la que puede estar reflejando una situación distinta a la que pueda presentar el curso de agua al momento de la operación de los canales.

---

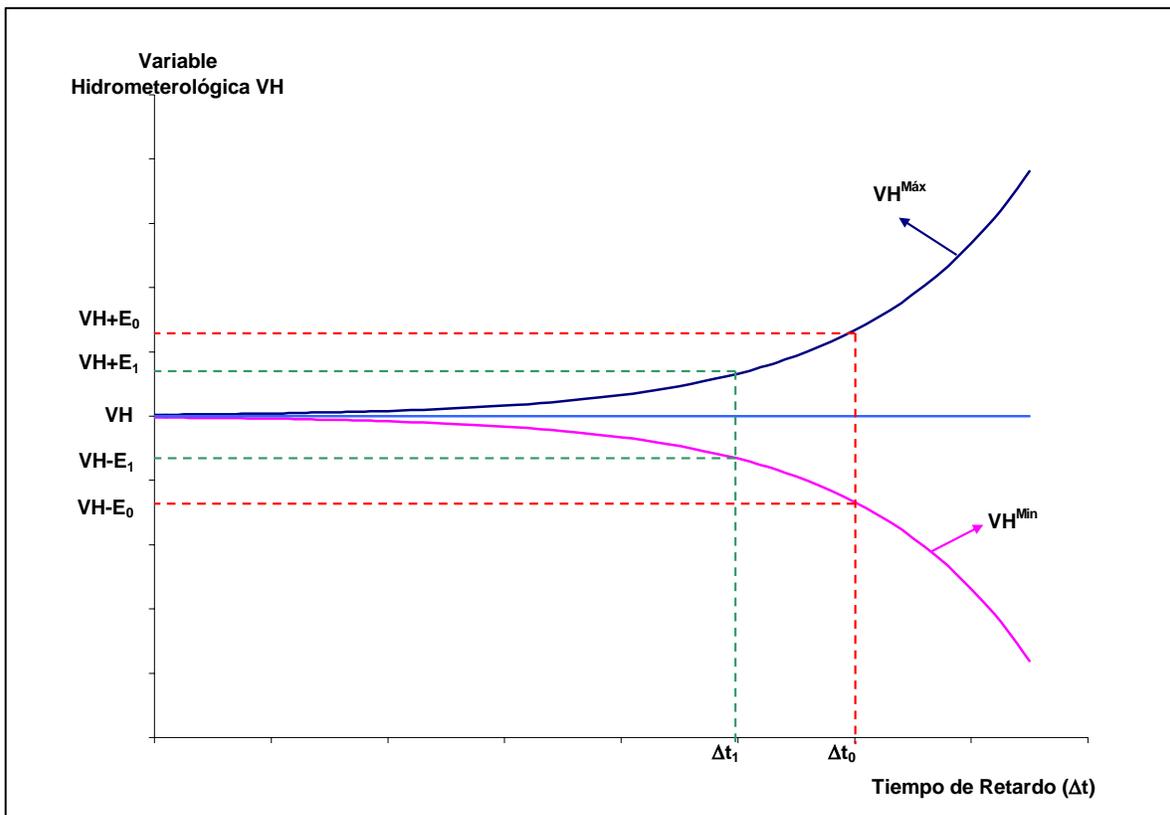
<sup>11</sup> Recordar que la variable de diseño  $VD$  es función de la variable hidrológica  $VH$ .

<sup>12</sup> Menciones a metodologías para medir beneficios considerando la reducción de error en las variables hidrométricas se pueden encontrar en World Meteorological Organization: Cost-benefit Assessment Techniques and User Requirements for Hydrological Data, WMO-No. 717, 1990.

<sup>13</sup> El Anexo N°6 presenta el detalle de este análisis.

Siguiendo el razonamiento utilizado en el caso de las decisiones que involucran inversión, contar con información con un espacio de tiempo de espera menor hace que se reduzcan los errores en las operaciones de los sistemas que hacen uso de información hidrométrica. Si  $VH(t)$  es el valor de este tipo de variables en un instante del tiempo "t", existe un error  $E(t)$  al utilizar el valor de  $VH(t-\Delta t)$  como predictor de  $VH(t)$ , equivalente a  $E(t)=Abs[VH(t-\Delta t)-VH(t)]$ , el que se reduce en la medida que  $\Delta t$  tiende a cero. Esto se ilustra en el siguiente gráfico.

**Gráfico N°3. Variable Hidrométrica v/s Tiempo de Retardo.**



Fuente: Elaboración Propia.

El gráfico muestra que con un cambio desde  $\Delta t_0$  a  $\Delta t_1$ , lo que implica contar con información con menor retraso, existe una reducción en los valores  $VH^{Min}$  y  $VH^{Max}$ , pasando de  $VH+E_0$  a  $VH+E_1$  y  $VH-E_0$  a  $VH-E_1$  respectivamente, con  $E_1 < E_0$ . En consecuencia, se genera un beneficio por la reducción en el error en la estimación de los costos de operación, producto de la disminución del error cometido al estimar el valor de la variable en un instante "t" con el valor observado con un retraso  $\Delta t_1$ , en vez de utilizar aquel registrado con un retraso  $\Delta t_0$  mayor.

Si  $CO(VH,X)$  corresponde a la función de costos de operación y mantenimiento, creciente con respecto a  $VH$ , existe un “ahorro” en los costos de operación ( $A_{CO}$ ) al reducir  $E$  desde  $E_0$  a  $E_1$ , equivalente a:

$$(4) \quad A_{CO} = \text{Abs}[CO(VH+E_0) - CO(VH+E_1)] + \text{Abs}[CO(VH-E_0) - CO(VH-E_1)]$$

El “ahorro” en costos de operación calculado de esta manera corresponderá a los beneficios de obtener variables hidrométricas en forma más oportuna. Notar que la expresión anterior no necesariamente implica simetría por cuanto los costos pueden presentar factores crecientes de escala, o bien las decisiones de operación pueden variar dependiendo de la dirección del error. Es decir, utilizar el valor de una variable por debajo o por sobre su valor medio de referencia puede generar beneficios de distinta magnitud, y por tanto una condición de asimetría adicional.

Lo central es hacer explícita la función de costos  $CO$  en función de las variables hidrométricas de interés, lo que se materializa por medio de entrevistas con especialistas en la operación de los sistemas que utilizan este tipo de variables, en el examen de información pertinente, y de aproximaciones “ad-hoc”, que permitan realizar una razonable estimación de los costos de operación y mantenimiento en función de cambios en el valor de las variables hidrométricas.

### *II.3.3. Beneficios asociados a decisiones de mitigación de pérdidas.*

Prevenir situaciones no deseadas implica tener necesariamente un sistema de pronósticos lo suficientemente adecuado que permita tomar anticipadamente acciones tendientes a mitigar los potenciales efectos no deseados que se producirían en el caso que no se tomará ninguna medida. Ejemplo de ello lo constituyen los procedimientos de alerta temprana utilizados por la Oficina Nacional de Emergencia (ONEMI).

Un sistema de pronósticos busca entregar información a sus usuarios en el sentido de modificar en ellos cual es la probabilidad de ocurrencia de los posibles estados que puedan tomar aquellas variables de las que no se puede tener

control<sup>14</sup>. En este sentido siempre es mejor contar con información ya que se producirá un mayor valor económico frente a no contar con ella<sup>15</sup>.

La presentación teórica expuesta en la sección IV.1 aplica en forma directa a este tipo de decisiones, por lo que se entiende que esta metodología se encuentra lo suficientemente explicada.

Lo central en este tipo de estimación de beneficios es construir la “matriz de pagos”, la probabilidad a priori del estado de la naturaleza, y la probabilidad del pronóstico (o mensaje)<sup>16</sup>.

La construcción de matriz de pagos considera entrevistas con usuarios previamente seleccionados, de forma tal de conocer cuales son las acciones posibles de tomar cuando se enfrentan a diferentes estados de la naturaleza. A partir de esta información es posible construir pares del tipo [acción, estado] obteniendo para cada uno de ellos los beneficios o costos asociados. Metodológicamente se propone identificar en primer lugar el par [acción, estado] “óptimo” o de referencia, consistente en aquel que produce los mayores beneficios (o menores costos). A partir de él, y como segunda etapa, proponer cambios en la acción, o en el estado de la naturaleza, caso a caso y uno a la vez, y ver como este valor “óptimo” o de referencia cambia. Siguiendo este algoritmo, la matriz de pagos quedaría totalmente definida al recorrer cada uno de los pares [acción, estado] identificados.

Las probabilidades de los eventos se obtendrían de los registros históricos disponibles, o mediante supuestos razonables sobre su distribución.

#### **II.4. Aspectos metodológicos en el análisis de costos.**

Un elemento central para la evaluación económica de proyectos o programas, tiene relación con la correcta estimación de los costos involucrados en la etapa de inversión, operación y mantenimiento de cada iniciativa. En el caso particular de la evaluación de los programas de mejoramiento de las redes de

---

<sup>14</sup> La definición de información utilizada se condice con la presentada en David B. Lawrence: The Economic Value of Information, Springer, 1999, Pág. 2.

<sup>15</sup> Una demostración formal se presenta en David B. Lawrence: The Economic Value of Information, Springer, 1999, Pág. 91-92.

<sup>16</sup> La probabilidad del pronóstico se puede obtener en forma indirecta conociendo la probabilidad a priori del estado de la naturaleza y la probabilidad condicional del mismo dado el pronóstico (o mensaje) utilizando el teorema de Bayes.

medición que se proponen en este estudio, la estimación de costos consideró un análisis en extenso bajo los siguientes aspectos metodológicos:

- De acuerdo a los antecedentes recogidos en la DGA se han determinado los costos anuales de operar las redes de cada región. Dichos costos de operación consideran los gastos en el personal que hace las mediciones y de observadores, los costos de transporte de dicho personal, y los costos de mantención y reparación de las infraestructuras y de los instrumentos de medición.
- La información general de costos se ha obtenido, en lo posible, para el período 2001-2005. Sin embargo, considerando que no se dispone de información de costos homogénea, se ha debido utilizar en algunos casos antecedentes de años aislados y extrapolar la información al período.
- Los costos de administración de la DGA se asigna en partidas globales, de modo que se han distribuido según algunos criterios específicos a las diferentes redes de medición y al costo de operación de cada región.

Por otro lado, el análisis costo-beneficio que considera este estudio tiene relación con conocer el costo que tiene para el país proveer la información hidrométrica, por lo que se han considerado los ajustes necesarios para reflejar adecuadamente los precios sociales involucrados. Todo este análisis se enmarca en la metodología usual de costo-beneficio de proyectos establecida por el Sistema Nacional de Inversiones del Ministerio de Planificación y Cooperación (MIDEPLAN), en la cual se consideran los siguientes factores de corrección:

**Cuadro N°3. Factores de Corrección Precios Privados a Precios Sociales.**

Ítem de Costo	2007 y 2008	2009 en adelante
Mano de Obra Calificada	0,98	1,00
Mano de Obra Semi-calificada	0,68	0,94
Mano de Obra No Calificada	0,62	0,89
Precio Social de la Divisa	1,01	1,01

Fuente: MIDEPLAN.

La tasa social de descuento que se debe aplicar a los flujos monetarios generados a partir del año 2007, según lo determinado por MIDEPLAN, corresponde al 8%.

## **II.5. Aspectos metodológicos en la evaluación del programa de mejoramiento de la Red de Calidad de Aguas.**

En primer lugar, es necesario destacar que el programa de mejoramiento de la red de calidad de aguas, es un mejoramiento a la red de medición, y por tanto los beneficios que se deben considerar son aquellos atribuibles exclusivamente a la medida.

En segundo lugar, el programa de mejoramiento propuesto en este estudio ha sido concebido para contribuir al cumplimiento de las normas secundarias de calidad de agua. Este plan en sí se convierte en una herramienta de ayuda en la función de fiscalización.

En este sentido, la evaluación económica de este programa está estrechamente relacionada con la evaluación económica de las normas secundarias que se dicten. En efecto, la formulación de una norma de calidad, bajo los preceptos de la racionalidad económica, tiene implícito que los beneficios que se logran con la mantención de ciertos estándares superan los costos que implican la fiscalización necesaria para velar por su cumplimiento.

Debido a que la evaluación económica de las normas secundarias de calidad excede el alcance de este estudio, se ha optado por analizar un caso particular que cuente con dicha evaluación. Este es el caso de las normas secundarias de la cuenca del Maipo.

Por otro lado, es posible que existan beneficios asociados a la medición en sí, esto es, que exista un beneficio no nulo por el simple hecho de contar con información que caracterice la calidad de agua en el río. Estos beneficios por NO-USO, que se derivan por el conocimiento que el recurso existe, en este caso con una calidad previamente determinada, debieran incluirse. Su medición es compleja y requiere de estudios específicos no considerados en este trabajo.

## **II.6. Aspectos metodológicos en la evaluación actual de la RHN.**

La evaluación de la Red Hidrométrica Nacional (RHN) en su situación actual en si es un tema complejo. Evaluar la existencia de la red supone una situación sin proyecto en la cual la red no existe y que la información estadística acumulada tampoco, escenario que resulta muy poco factible.

Una evaluación alternativa y que entrega más información sobre la situación actual de la red, tiene relación con la decisión de seguir midiendo o no. En este caso la RHN se considerará socioeconómicamente rentable si el beneficio neto de

seguir midiendo es mayor al de no continuar con su operación. El siguiente cuadro ilustra tal situación.

**Cuadro N°4. Evaluación red actual – Ilustración.**

	<b>Beneficios</b>	<b>Costos</b>	<b>Beneficios Netos</b>
c/Red	B	C	B-C
s/Red	B-P	0	B-P
Diferencia	P	C	P-C

Fuente: Elaboración propia.

En el cuadro anterior se muestra la situación con y sin red, y una representación de medida de los costos y beneficios asociados a cada escenario. En el caso con red, su existencia asegura beneficios de magnitud B, para lo cual se debe incurrir en una serie de costos iguales a C. El beneficio neto corresponde entonces a (B-C). Al dejar de medir, situación sin red, los beneficios no desaparecen, más bien existe una pérdida en ellos. Esto se debe a que la estadística acumulada aún sigue siendo útil, pero en la medida que pasa el tiempo ésta va perdiendo valor. Si la pérdida en los beneficios se valoriza en una magnitud P, los beneficios finales serían (B-P). Por otro lado, los costos de operación y mantenimiento de la red desaparecen, por lo que el beneficio neto asociado igual a los beneficios, es decir, (B-P). Luego, por simple diferencia se tiene que los beneficios netos de seguir operando y midiendo la RHN estarán dados por la expresión (P-C), equivalente a la diferencia de beneficios netos entre la situación con y sin red. En caso que este valor sea mayor que cero la RHN en su estado actual se justifica económicamente.

Lo anterior quiere decir que la RHN se justifica en la medida que los costos de seguir manteniendo y operando la red nunca deben superar a las pérdidas que se producen por no contar con las mediciones que ella proporciona.

### III. PLAN DE MEJORAMIENTO DE LA RED HIDROMETRICA NACIONAL.

Uno de los objetivos planteados en este estudio corresponde a la propuesta de un plan de inversiones para la RHN en un horizonte de mediano plazo y largo plazo, para lo cual se ha diseñado un plan de mejoramiento de la Red Hidrométrica Nacional. La concepción de este plan resulta del examen de la red actual, los estudios existentes, la revisión de la experiencia internacional y de la propia experiencia del consultor, cuyo resultado sugiere la potencial implementación de 11 programas de mejoramiento, previo a la evaluación económica, según se muestra en el cuadro que sigue.

**Cuadro N°5. Programas de Mejoramiento de la RHN.**

RED	Programa	N° Est.	Inversión		O&M	
			MM\$ Oct 2006	MM US\$ Oct 2006	MM\$ Oct 2006	MM US\$ Oct 2006
Fluviométrica	Cambio de Estaciones de registro Analógico a Digital.	47	206,2	0,4	0,0	0,0
	Aumento de Densidad de Estaciones Fluviométricas.	147	2.850,0	5,4	431,3	0,8
	Cambio de Estaciones de Registro Digital a Transmisión Satelital.	164	794,4	1,5	0,0	0,0
	Aumento de Densidad de Estaciones Fluviométricas para Control Extracciones. /1	100	923,2	1,7	293,4	0,6
Hidrometeorológica	Aumento Densidad de Estaciones Pluviométricas.	127	254,0	0,5	88,9	0,2
	Aumento Densidad Estaciones Hidrometeorológicas con Medición de Temperatura.	56	840,0	1,6	39,2	0,1
	Cambio de Estaciones de Registro Digital a Transmisión Satelital. /2	170	330,5	0,6	0,0	0,0
Calidad de Aguas	Aumento de Puntos de Muestreo y de Número de Muestras al Año. /3	430	34,1	0,1	165,1	0,3
	Registro Continuo de Parámetros de Calidad.	108	1.241,5	2,3	293,1	0,6
	Biomonitoreo. /4	116	0,0	0,0	80,9	0,2
	Monitoreo de Lagos. /4	16	0,0	0,0	21,1	0,0
<b>TOTAL</b>		<b>1.481</b>	<b>7.473,9</b>	<b>14,1</b>	<b>1.413,0</b>	<b>2,7</b>
Notas: /1 Programa complementario /2 150 estaciones hidrometeorológicas (MM\$175,5) junto con 20 rutas de nieve (MM\$155,0). /3 Inversión en ampliación de laboratorio. /4 Programa que no contempla inversiones, solo se trata de análisis de muestras. /5 Cifras en dólares utilizando tipo de cambio promedio mes de Oct 2006 \$/US\$ 530,95.						

Fuente: Elaboración Propia.

### III.1. Mejoramiento de la Red Fluviométrica.

El objetivo general de la red hidrométrica nacional es proporcionar a un mínimo costo las características de los caudales, a lo menos con la aproximación correspondiente a un estudio de factibilidad, en cualquier cauce importante del país, mediante la extensión de valores obtenidos en las distintas estaciones que la conforman. En este contexto se entiende por características de los caudales todos los datos cuantitativos, promedios y extremos, que definen la distribución estadística del caudal estudiado. Este objetivo asume la existencia de una adecuada red meteorológica.

Adicionalmente, la red fluviométrica debe generar información para la gestión de recursos hídricos por parte de usuarios y apoyar en la mitigación de eventos extremos.

Para su mejoramiento se han definido cuatro programas orientados a contar con información de mayor cobertura, calidad y disponibilidad:

- Cambio de Estaciones de Registro Analógico a Digital,
- Aumento Densidad de Estaciones Fluviométricas,
- Cambio de Estaciones de Registro Digital a Transmisión Satelital, y
- Aumento de Estaciones Fluviométricas para Control de Extracciones.

Para el diseño de cada uno de los programas de mejoramiento de esta red, se tuvo a la vista el estudio del Análisis Crítico de la Red Fluviométrica Nacional desarrollado entre los años 1980 y 1983, el estudio de Modernización del Servicio Hidrométrico que la DGA realizó en 1995, la experiencia en países tales como Estados Unidos (Estado de California), Australia, España, Colombia entre otros<sup>17</sup>.

#### a. Cambio de estaciones de registro analógico a digital.

Este programa considera la implementación de 47 estaciones con registro de datos digital, en aquellas que actualmente poseen registro analógico, entre la primera y tercera región. El costo por estación es de MM\$4,38, resultando un valor total del programa de MM\$206,24. El siguiente cuadro muestra un resumen del programa.

---

<sup>17</sup> El detalle de la propuesta de mejoramiento para la Red Fluviométrica se encuentra ampliamente explicada en el Anexo N°2 PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DE REDES.

**Cuadro N°6. Costo de la modernización de estaciones analógicas**

Región	Estaciones a modernizar	Costo de Instalación (M\$ 2006)
I	19	83.372
II	17	74.596
III	11	48.268
Total	47	206.236

Fuente: Elaboración Propia

Los costos de operación y mantenimiento de estas nuevas estaciones son menores, y se ha concluido que éstos no producirían efectos en los actuales costos de operación de la Red<sup>18</sup>.

b. Aumento densidad de estaciones fluviométricas.

El programa de aumento de densidad fluviométricas considera la implementación de 147 estaciones fluviométricas de tipo digital a lo largo de todo Chile.

Los costos de inversión de este programa contemplan un costo por estación de MM\$19,38, lo que da un total de MM\$2.850.

Los costos de operación y mantenimiento se han estimado en MM\$2,93 por estación al año lo que equivale a un 15,1% de la inversión.

c. Cambio de estaciones de registro digital a transmisión satelital.

Este programa considera la implementación de 164 estaciones con transmisión satelital que actualmente poseen registro digital, por sobre las 84 que existen actualmente. Con esto se llegaría a una cobertura de 45% de estaciones con plataforma satelital, algo menor a la que posee España. Se contempla su implementación a lo largo de todo Chile, con un costo por estación de MM\$4,84. El un costo total para el programa alcanza los MM\$794,42.

<sup>18</sup> Esto es equivalente a decir que el costo incremental (diferencia entre la situación sin y con proyecto) de operación y mantenimiento producto de este programa es cero.

Los costos de operación y mantenimiento se han estimado nulos, por cuanto la transmisión de los datos se realiza por medio de un satélite de uso gratuito y su recepción se hace sobre programas computacionales que se encuentran actualmente implementados.

d. Aumento de estaciones fluviométricas para control de extracciones (Plan Complementario).

El programa de control de extracciones se ha concebido como un proyecto complementario, dirigido a usuarios de canales.

La implementación del programa considera instalación de 100 estaciones fluviométricas satelitales, para la obtención de datos en “tiempo real”, ubicada en los canales más importantes del país.

Los costos de inversión de este programa contemplan un valor por estación de MM\$9,23, lo que da un total de MM\$923,2.

Los costos de operación y mantenimiento se han estimado en MM\$2,9 por estación al año lo que equivale a un 27,98% de la inversión.

### **III.2. Mejoramiento de la Red Hidrometeorológica.**

De acuerdo a lo señalado en el estudio “Análisis de la Red Hidrometeorológica Nacional” de 1985, la red hidrometeorológica corresponde a un sistema organizado de estaciones meteorológicas, interrelacionadas espacial y temporalmente, que están destinadas a recolectar un conjunto de datos para que, junto a la información que entrega la red fluviométrica, puedan satisfacer los distintos requerimientos de información que plantean los diferentes sectores del país. La red hidrometeorológica debe medir precipitación, líquida y sólida, evaporación, temperatura, variables climatológicas, entre otras, de la forma más representativa, y poder apoyar los distintos estudios para la gestión de recursos hídricos.

Para la red hidrometeorológica se han definido tres programas de mejoramiento orientados a contar con información de mayor cobertura, calidad y disponibilidad:

- Aumento Densidad de Estaciones Pluviométricas,
- Aumento Densidad de Estaciones Hidrometeorológicas, y
- Cambio de Estaciones de Registro Digital a Transmisión Satelital.

El diseño de cada uno de los programas de mejoramiento de esta red, contempló la revisión de estudios previos, experiencia internacional y la del propio consultor. Se tuvo a la vista el estudio del Análisis de la Red Hidrometeorológica Nacional desarrollado entre el año 1985 por la DGA, la revisión de la experiencia en países tales como Estados Unidos, España, Colombia, Gran Bretaña, México, Australia entre otros. También se consideraron criterios de la Organización Mundial de Meteorología (OMM)<sup>19</sup>.

a. Aumento densidad de estaciones pluviométricas.

Este programa considera la implementación de 127 estaciones pluviométricas, a un costo por estación de MM\$2,0. Esto da un costo total para el programa de MM\$254,0.

Los costos de operación y mantenimiento se han estimado en unos M\$700 por estación, equivalente a un 35% de la inversión<sup>20</sup>.

b. Cambio de estaciones de registro digital a transmisión satelital.

Este programa considera en primer lugar, la implementación de 150 estaciones con transmisión satelital en aquellas que presenten registro digital. Estas se ubicarían a lo largo de todo Chile complementándose con la red pluviométrica.

El costo por estación mejorada es de MM\$1,17, resultando un costo total del programa de MM\$175,5.

Los costos de operación y mantenimiento se han estimado nulos, por cuanto las mejoras son complementarias a la red pluviométrica.

Una segunda parte de este mejoramiento corresponde a la modernización de las Rutas de Nieve, para las cuales se han concebido mejoras para obtener datos en “tiempo real”. Se ha visualizado una actualización de 15 rutas de nieve y la implementación de 5 nuevas rutas con plataforma satelital.

---

<sup>19</sup> El detalle de la propuesta de mejoramiento para la Red Hidrometeorológica se encuentra ampliamente explicada en el Anexo N°2 Propuesta de Mejoramiento de Redes.

<sup>20</sup> Esta cifra resulta de analizar los costos de operación de la red actual. Ver Anexo N°1.

El costo de actualización de una ruta de nieve se ha estimado en MM\$7,0, y para implementar una nueva ruta adicionar MM\$3,0 en infraestructura, lo que arroja un total de MM\$10,0 por cada nueva ruta. Por tanto, el costo total de implementar estas rutas de nieve con plataforma satelital asciende a MM\$155,0.

c. Aumento densidad de estaciones hidrometeorológicas con medición de temperatura.

Este programa considera la implementación de 56 nuevas estaciones hidrometeorológicas de las más completas, a lo largo de todo Chile, con un costo por estación de MM\$15, que incluye infraestructura y equipos, resultando un costo total de MM\$840.

Los costos de operación y mantenimiento se han estimado en unos M\$700 por estación, equivalente a un 4,67% de la inversión<sup>21</sup>.

### **III.3. Mejoramiento de la Red de Calidad de Aguas.**

Las redes de Calidad de Agua están orientadas al seguimiento de la calidad de los cursos y cuerpos de agua (cursos de aguas superficiales, aguas subterráneas y cuerpos lénticos) con el objetivo de conservar y proteger el recurso hídrico y el medio ambiente asociado.

El mejoramiento de la red de calidad de aguas se traduce en la implementación de tres programas específicos para cursos superficiales de agua y un mejoramiento a la red de monitoreo de lagos. Las mejoras asociadas a la red de cursos superficiales de agua son:

- Aumento de Puntos de Muestreo y Número de Muestras al Año,
- Registro Continuo de Indicadores de Calidad, y
- Biomonitoreo (Usos de Indicadores Biológicos).

El diseño de estos programas consideró el análisis de diferentes estudios, entre ellos, “Diagnóstico y Clasificación de los Cursos y Cuerpos de Agua según Objetivos de Calidad” desarrollado para la DGA por DGA/Cade-Idepe, utilizado como base de referencia. También se tuvieron a la vista varios estudios relacionados con la utilización de bioindicadores. Se revisó la experiencia

---

<sup>21</sup> Ver Nota anterior.

internacional, específicamente las características de las redes de monitoreo de algunos países europeos, por su creciente preocupación por el medioambiente<sup>22</sup>.

a. Aumento de puntos de muestreo y número de muestras al año.

Este programa considera el aumento de 1.527 muestras al año y 96 puntos de muestreo adicionales a los existentes.

La implementación de este programa considera la ampliación del laboratorio con un costo estimado de MM\$34,1. Esta cifra corresponde a un 6% del valor actual de la infraestructura actual<sup>23</sup>, y se considera suficiente para absorber el número mayor de muestras.

El mayor número de muestras (1.527) considera un incremento en los costos de operación de MM\$165,1, cifra que incluye la toma de muestra y análisis.

b. Registro continuo de indicadores de calidad.

Este programa considera la implementación de 108 estaciones automáticas para 30 cuencas a lo largo del país, todas ellas a ser equipadas con equipos muestreadores automáticos. De este total, solamente 25 tienen equipos multiparámetros instalados, por lo que 83 estaciones deben ser implementadas con este tipo de equipos para tener las 108 estaciones que considera el plan. El costo del equipo muestreador automático se ha estimado en MM\$5, al igual que para los equipos multiparámetros (sondas). El costo de instalación se ha estimado en MM\$1,5 millones por equipo. Esto arroja un total de MM\$1.241,5.

Los costos anuales de operación y mantenimiento adicional producto de la implementación de la totalidad del programa se han estimado en MM\$293,1 al año.

---

<sup>22</sup> El Anexo N°2 Propuesta de Mejoramiento de Redes, presenta en detalle el análisis de la propuesta de mejoramiento de la Red de Calidad de Aguas.

<sup>23</sup> La estimación de los costos de instalaciones existentes es de MM\$568,3.

c. Biomonitorio (Uso de indicadores biológicos).

El programa de uso de bioindicadores ha sido concebido con el uso de macroinvertebrados debido a su facilidad para el análisis y muestreo. Se definieron 116 puntos de muestreo ubicados en estaciones existentes (fluviométricas o de calidad), por lo cual no es necesaria inversión en infraestructura.

Los costos de operación de este programa se han estimado en \$33.089 por recoger y analizar cada muestra, con un costo promedio adicional por campaña de muestreo de \$54.135 por muestra. El costo total para el programa una vez implementados los 116 puntos de muestreo, a razón de 2 muestras 4 veces al año, asciende a MM\$80,94.

d. Monitoreo de Lagos.

Este programa propone monitorear 16 lagos adicionales a la red existente, para lo cual se ha considerado realizar 4 campañas al año en 3 puntos de muestreo (estaciones) por lago, midiendo 14 parámetros en cada muestra. Esto da un total de 2.688 análisis al año. El costo estimado por cada campaña se ha estimado en M\$3.000, mientras que el costo promedio por análisis en \$3.390. Una vez que se ha implementado la totalidad del programa, el costo total por año alcanza los MM\$21,11.

#### **IV. ANALISIS COSTO-BENEFICIO DE LA RED HIDROMETRICA NACIONAL.**

Este capítulo muestra los resultados obtenidos del análisis costo-beneficio que fueron realizados a la Red Hidrométrica Nacional.

En primer lugar se presentan las conclusiones obtenidas de la evaluación de los programas de mejoramiento de la RHN que fueron expuestos en el capítulo III de este informe. En cada caso se estimaron los respectivos costos y beneficios atribuibles al programa, corregidos sus precios para reflejar su valor social según corresponda, obteniendo los indicadores de bondad típicos como son VAN, TIR, B/C, IVAN, entre otros.

Finalmente se presenta la evaluación de la red actual. Los escenarios a comparar corresponden a aquel en que la red sigue operativa, y por tanto su función de recolectar información se mantiene en el tiempo, versus el escenario en que la red deja de operar.

#### IV.1. Evaluación propuesta programas de mejoramiento de la RHN.

El mejoramiento de la RHN ha sido concebido como la implementación de 11 planes según se muestra en el cuadro resumen que sigue.

**Cuadro N°7. Programas de Mejoramiento de la RHN.**

RED	Plan	Producto Mejorado	Grupo de Análisis
Fluviométrica	Cambio de Estaciones de registro Analógico a Digital.	Distribución Estadística	1
	Aumento de Densidad de Estaciones Fluviométricas.	Distribución Estadística	2
	Cambio de Estaciones de Registro Digital a Transmisión Satelital.	Información en Tiempo Real	3
	Aumento de Densidad de Estaciones Fluviométricas para Control Extracciones	Gestión de Distribución de Agua en Canales Distribución Estadística	(*)
Hidrometeorológica	Aumento Densidad de Estaciones Pluviométricas.	Distribución Estadística	2
	Cambio de Estaciones de Registro Digital a Transmisión Satelital.	Información en Tiempo Real	3
	Aumento Densidad Estaciones Hidrometeorológicas con Medición de Temperatura.	Distribución Estadística	2
Calidad de Aguas	Aumento de Puntos de Muestreo y de Número de Muestras al Año.	Cumplimiento Normas Secundarias	4
	Registro Continuo de Parámetros de Calidad.	Cumplimiento Normas Secundarias	4
	Biomonitoreo.	Cumplimiento Normas Secundarias	4
	Monitoreo de Lagos	Cumplimiento Normas Secundarias	4
Notas: (*)Programa Complementario.			

Fuente: Elaboración Propia.

Dada la naturaleza de los programas de mejoramiento, principalmente debido a economías de ámbito o alcance<sup>24</sup>, estos han sido agrupados para realizar su evaluación.

Por ejemplo, los programas relacionados con la implementación de plataformas satelitales, tanto para la red fluviométrica como hidrometeorológica, resulta conveniente analizarlos en su conjunto, debido a que el costo de incorporar parámetros adicionales en la medición en tiempo real es marginal.

En otro aspecto, resulta de interés evaluar en conjunto la densificación de las redes, por cuanto los beneficios que se perciben responden todos al mejoramiento de las estadísticas disponibles. Adicionalmente, resulta difícil, y a veces poco realista, separar las mejoras que se producen por los mejoramientos individuales y sus efectos en los beneficios. Por ejemplo, la asignación de derechos de agua considera la estimación del recurso hídrico disponible, para lo cual se utiliza en forma conjunta variables fluviométricas, pluviométricas y de temperatura.

Otro grupo que ha sido analizado como un todo, corresponden a los programas orientados a mejorar la Red de Calidad de Aguas. Éstos se consideran indivisibles, por cuanto no es posible, si no con la convivencia de estas tres mejoras, el correcto monitoreo de la calidad de las aguas, y por consiguiente constituir una herramienta de fiscalización para las futuras normas secundarias que deben implementarse en el país.

El programa de cambio en el registro análogo de datos fluviométricos por uno digital ha quedado por defecto como un caso aislado a ser evaluado.

---

<sup>24</sup> Economías de ámbito o alcance se refiere a la capacidad de una empresa de generar varios productos o servicios utilizando para ello las mismas instalaciones. Esto es lo que sucede con la medición de ciertos parámetros que utilizan la misma infraestructura y solo requieren de la adición de un equipo adicional.

#### IV.1.1. Programa de mejoramiento: Cambio registro analógico a digital en la Red Fluvimétrica.

La red Fluvimétrica está orientada a la caracterización de los caudales con cauce importante en el país. Para cumplir con su objetivo se dispone de una serie de estaciones que miden caudal, muchas de ellas con registro analógico.

El programa de mejoramiento propuesto consiste en el reemplazo de 47 estaciones fluvimétricas con registro analógico a digital, para las regiones primera a tercera. Con la implementación de estas estaciones se alcanza un nivel del 100% de digitalización a nivel nacional. Este tipo de estaciones permiten reducir la pérdida de datos debido a la eliminación del proceso de registro manual. Como resultado se tendría un mejoramiento en la calidad estadística de los datos, tanto en su confiabilidad como disponibilidad.

Se ha propuesto que la implementación de este programa sea realizada en su totalidad en un solo año. Para efectos de la evaluación se ha supuesto que las inversiones se realizan el año 2008.

##### IV.1.1.1. Costos del programa.

El costo de reconvertir una estación analógica a una digital se ha estimado en MM\$4.388 según detalle que se adjunta en el siguiente cuadro.

**Cuadro N°8. Costo Cambio Estación Fluvimétrica Analógica a Digital (M\$ Oct 2006)**

Ítem	Componente Nacional	Componente Extranjera	Costo Total
<b>Obras Civiles</b>			
Caseta y obras Data Logger y sensor de presión	1.190	0	1.190
<b>Instrumentos</b>			
Data Logger y sensor de presión	0	2.648	2.648
Panel solar y regulador de voltaje	0	500	500
Batería	0	50	50
<b>Total</b>	<b>1.190</b>	<b>3.198</b>	<b>4.388</b>

Fuente: Elaboración Propia.

Los valores que se incluyen en el cuadro anterior corresponden a precios de mercado que incluyen IVA<sup>25</sup> (precios privados), para lo cual es necesario realizar algunas correcciones para obtener su valor social, según se muestra en el siguiente cuadro.

**Cuadro N°9. Costo Social Cambio Estación Fluviométrica Analógica a Digital. (M\$ Oct 2006)**

Ítem	Costo Privado	Costo sin IVA (19%)	Costo antes de aplicar Factor de Corrección.	Factor de Corrección MIDEPLAN	Costo Social
<b>Inversiones</b>					
Componente Nacional	1.071	900	900	1,00	900
Componente Importado	3.198	2.687	2.687	1,01	2.714
<b>Mano de Obra</b>					
Calificada /*	119		119	0,98	117
Semi-Calificada				0,68	0
No Calificada				0,62	0
<b>TOTAL</b>	<b>4.388</b>		<b>3.706</b>		<b>3.731</b>
Nota:					
/* Se supuso como mano de obra el 10% del valor en obras civiles (119.000=1.190.000*0,1)					

Fuente: Elaboración propia.

Los instrumentos se reemplazan cada 10 años (MM\$2,71 por estación a precios sociales).

Los costos de operación y mantenimiento han sido considerados nulos<sup>26</sup>.

No se considera valor residual por cuanto los activos involucrados son muy específicos y de muy rápida obsolescencia por lo que su valor económico al final de su vida útil es casi nulo<sup>27</sup>.

<sup>25</sup> Tasa vigente del IVA es de 19%.

<sup>26</sup> Los nuevos equipos que serán implementados no requieren operación y mantenimiento especial, las actuales visitas que se realizan a las estaciones que serán mejoradas permiten realizar una revisión de los nuevos equipos, los datos se transmiten utilizando un satélite de uso gratuito, la información se descarga utilizando un programa computacional ya implementado.

<sup>27</sup> No se ha considerado para efectos de este estudio analizar una posible venta como chatarra. A priori no se visualiza un mercado de desechos para estos equipos.

#### IV.1.1.2. Beneficiarios del programa y sus beneficios.

Contar con una mejor calidad en la estadística disponible, se traduce en mejoras en todas aquellas actividades que utilizan los registros históricos para su desarrollo<sup>28</sup>.

Dado que este programa afecta sólo a las regiones primera a tercera, el principal beneficiario que se identifica es la DGA para su función asignadora de derechos de agua. Se prevé que la principal función que la DGA tendría a futuro estaría relacionada con traslados y traspasos de derechos, para lo cual deberá realizar acuciosos estudios de disponibilidad de agua. El beneficio de contar con estaciones 100% digitalizadas corresponde a la reducción en el error cometido en la estimación del agua disponible. Los beneficios han sido calculados valorizando los derechos de agua de la zona, los que se han estimado en una anualidad de MM\$17.087,7 a perpetuidad.

La mejora del programa permite reducir el error en la estimación de los caudales disponibles en un 1,5% hacia el final del año 30, con lo cual la reducción promedio por año es de 0,05%. Esta ganancia es acumulativa año a año y se aplica a la anualidad equivalente de los derechos valorizados, en proporción al número de estaciones que se verán afectadas por la mejora (47de 73).<sup>29</sup>

#### IV.1.1.3. Análisis Costo-Beneficio

##### a) Resultados Básicos.

En el cuadro siguiente se presentan los flujos de costos y beneficios utilizados para la determinación de los indicadores de rentabilidad del programa de mejoramiento de la Red Fluviométrica consistente en el reemplazo de estaciones con registro analógico de datos por estaciones de captura digital. El horizonte de análisis supuesto es de 30 años de operación del proyecto, lo cual en adición al año inicial de implementación da un horizonte total de 31 años para efectos de las estimaciones de valor presente. La implementación del programa se ha estimado que se realiza durante el año 2008, obteniéndose beneficios a partir del año siguiente momento en que las estaciones mejoradas entran en operación. Se ha

---

<sup>28</sup>En el Anexo N°7 se presenta un detalle con los principales usuarios de la RHN.

<sup>29</sup> El Anexo N°8 Estimación de Beneficios según programa de mejoramiento, incluye el detalle de los procedimientos y supuestos utilizados en esta estimación.

supuesto que los flujos monetarios se obtienen todos al final de cada período, los cuales han sido descontados utilizando una tasa social de descuento de 8%<sup>30</sup>.

**Cuadro N°10. Flujo Neto de Beneficios Programa de Mejoramiento:  
Cambio registro analógico a digital – Red Fluviométrica  
(MM\$ Oct 2006)**

Año	Inversión	O&M	Costo Total	Beneficio Total	Beneficio Neto
0	175,4		175,4	0,0	-175,4
1		0,0	0,0	5,5	5,5
2		0,0	0,0	11,0	11,0
3		0,0	0,0	16,5	16,5
4		0,0	0,0	22,0	22,0
5		0,0	0,0	27,5	27,5
6		0,0	0,0	33,0	33,0
7		0,0	0,0	38,5	38,5
8		0,0	0,0	44,0	44,0
9		0,0	0,0	49,5	49,5
10	150,3	0,0	150,3	55,0	-95,3
11		0,0	0,0	60,5	60,5
12		0,0	0,0	66,0	66,0
13		0,0	0,0	71,5	71,5
14		0,0	0,0	77,0	77,0
15		0,0	0,0	82,5	82,5
16		0,0	0,0	88,0	88,0
17		0,0	0,0	93,5	93,5
18		0,0	0,0	99,0	99,0
19		0,0	0,0	104,5	104,5
20	150,3	0,0	150,3	110,0	-40,3
21		0,0	0,0	115,5	115,5
22		0,0	0,0	121,0	121,0
23		0,0	0,0	126,5	126,5
24		0,0	0,0	132,0	132,0
25		0,0	0,0	137,5	137,5
26		0,0	0,0	143,0	143,0
27		0,0	0,0	148,5	148,5
28		0,0	0,0	154,0	154,0
29		0,0	0,0	159,5	159,5
30	150,3	0,0	150,3	165,0	14,7
VAN	562,7	0,0	292,2	631,0	338,9

Fuente: Elaboración propia.

<sup>30</sup> Tasa social de descuento calculada por MIDEPLAN.

### Cuadro N°11. Indicadores de Rentabilidad.

Indicador	Valor
VAN (MM\$)	338,9
TIR (%)	16,9%
B/C	2,16
Año Recua.	13
IVAN	0,60

Fuente: Elaboración Propia

Como se aprecia del cuadro, el programa presenta un VAN de MM\$338,9 con un TIR de un 16,9%, lo que indica que el programa es rentable. La relación B/C ha sido estimada en 2,16 lo que señala que los beneficios actualizados superan en poco más de 2 veces los costos de inversión, operación y mantenimiento. El indicador IVAN estimado es igual a 0,60, entregando una señal de retorno en valor presente de 57 pesos por cada 100 que se inviertan en este programa (medidos también en valor presente). La recuperación de costos se alcanza en el año 13.

Los indicadores de rentabilidad para este programa son muy favorables, ya que en las zonas comprendidas entre la primera a tercera región se observa un alto valor del agua, reflejando la situación de escasez que existe en el lugar.

Con estas cifras, y bajo los supuestos considerados para el análisis, se recomienda su implementación.

#### b) Análisis de Sensibilidad.

Este análisis toma en cuenta el efecto en los principales indicadores de rentabilidad del programa debido a la variación de algunas variables y supuestos utilizados en la evaluación, en particular por variaciones en los costos de inversión y en los parámetros usados en la estimación de beneficios.

En general, las variaciones realizadas al valor de las inversiones, en la anualidad equivalente del valor de los derechos de agua y en la "Mejora"<sup>31</sup> que se logra con la implementación de las nuevas estaciones, muestran indicadores de rentabilidad robustos, en el sentido que no hacen variar la decisión de implementar el programa. Estos resultados se muestran en el cuadro que sigue.

<sup>31</sup> Reducción del error en la estimación de la disponibilidad de agua.

**Cuadro N°12. Análisis de Sensibilidad.**

Indicadores de Rentabilidad		VAN MM\$	TIR %	B/C			
Valores Base		338,86	16,9%	2,16			
Variable	Variación	VAN MM\$	Δ%	TIR %	Δ%	B/C	Δ%
Inversión	10%	309,6	-8,6%	0,2	-7,0%	2,0	-9,1%
	-10%	368,1	8,6%	0,2	8,0%	2,4	11,1%
Beneficios	10%	402,0	18,6%	0,2	7,3%	2,4	10,0%
	-10%	275,8	-18,6%	0,2	-7,8%	1,9	-10,0%

Fuente: Elaboración Propia.

El VAN presenta una mayor sensibilidad producto de variaciones en los beneficios, una variación del 10% en ellos implica un 18,6% de desviación en el VAN (elasticidad igual a 1,8).

c) Análisis de Riesgo.

Para efectos de tener una estimación acerca de los riesgos involucrados en invertir en este programa se ha desarrollado una simulación en base al análisis de Montecarlo, en el cual a cada parámetro de interés se le asigna una distribución de probabilidad realizando 1.000 extracciones simultáneas de cada uno de ellos.<sup>32</sup>

Los principales supuestos utilizados han sido:

- Inversión: distribución uniforme centrada en el valor base, con límites de  $\pm 10\%$ .
- Anualidad derechos de agua: distribución triangular centrada en el valor base, con límites de  $\pm 10\%$ .
- Mejora: distribución triangular en su valor base (1,5%), con límites de  $\pm 10\%$ .

Los resultados principales de este análisis se muestran a continuación:

<sup>32</sup> Para estas simulaciones se ha utilizado el programa Crystall Ball.

**Cuadro N°13. Análisis de Riesgo.**

<b>INDICADORES RENTABILIDAD</b>	<b>VALOR</b>
VAN promedio (MM\$)	338,2
VAN mediano (MM\$)	338,3
Desv. Std. VAN (MM\$)	39,9
VAN mínimo (MM\$)	228,6
VAN máximo (MM\$)	462,5
Coef. Var. VAN (%)	11,8%
TIR promedio (%)	16,8%
TIR mediana	16,8%
TIR Mínima (%)	14,0%
Prob. VAN > 0	99,9%
<b>Contribución a la varianza del VAN</b>	
Inversión	15,5%
Anualidad Equivalente Derechos	38,0%
Mejora	46,5%

Fuente: Elaboración Propia

Del cuadro se aprecia que la decisión de implementar el programa no varía al considerar los factores de riesgo supuestos en este análisis. Los indicadores de rentabilidad promedio siguen siendo muy favorables, más aún si se considera que la probabilidad de obtener un VAN positivo es de un 99,9%. Este resultado indica que el programa es altamente recomendable, incluso bajo los supuestos de aleatoriedad considerados.

La variabilidad del VAN se aprecia moderada si se observa que su coeficiente de variación es de un 12%. La variable que más incide en la varianza del VAN es la "Mejora" que produce el programa, responsable del 46,5% de ella.

Finalmente, y con base en los resultados del análisis, se recomienda la implementación de este programa.

#### IV.1.2. Programa de mejoramiento: Aumento de densidad de la Red Fluviométrica y Red Hidrometeorológica.

La red Fluviométrica está orientada a la caracterización de los caudales con cauce importante en el país. Por su parte, la red hidrometeorológica debe medir precipitación, líquida y sólida, evaporación, temperatura, variables climatológicas, entre otras, de la forma más representativa, y poder apoyar los distintos estudios para la gestión de recursos hídricos, para lo cual ambas redes se complementan.

El programa de aumento de densidad considera la implementación de 147 estaciones fluviométricas de tipo digital, 127 estaciones con pluviómetros y 56 nuevas estaciones hidrometeorológicas avanzadas (climatológicas).

Estos mejoramientos permiten contar con una mejor calidad de la estadística disponible, lo que se traduce en mejoras en todas aquellas actividades que utilizan los registros históricos para su desarrollo. Por ejemplo, en las obras de infraestructura requiere estimar ciertas variables de diseño que, debido a la naturaleza estocástica de la información hidrométrica, presenta intrínsecamente un nivel de error asociado. La obra por lo general se diseña para el valor estimado de la variable de diseño más un factor de seguridad que refleja la incorporación del nivel de error de la estimación. La reducción del nivel de error permite una disminución en el factor de seguridad y en consecuencia una disminución en el tamaño de la obra.

##### IV.1.2.1. Costos del programa.

El costo total de este programa se ha estimado en MM\$3.944 según se muestra en el siguiente cuadro.

**Cuadro N°14. Montos de Inversión Ampliación Redes**

Red Aumentada	N° Estaciones Adicionales	Monto Inversión (MM\$ Oct 2006)
Fluviométrica	147	2.850
Hidrometeorológica (pluviómetros)	127	254
Hidrometeorológica (climatológicas: T°)	56	840
<b>TOTAL</b>	<b>330</b>	<b>3.944</b>

Fuente: Elaboración Propia.

El detalle de estas inversiones se presenta a continuación.

a) Ampliación Red Fluviométrica.

El costo de implementación de una estación fluviométricas de tipo digital es de MM\$19.388, lo que arroja un total de MM\$2.850 para las 147 estaciones que se contemplan.

**Cuadro N°15. Costo Estación Fluviométrica Digital.  
(M\$ Oct 2006)**

Ítem	Componente Nacional	Componente Extranjera	Costo Total
<b>Obras Civiles</b>			
Caseta y obras Data Logger y sensor de presión	1.190	0	1.190
Estructura de aforo	15.000	0	15.000
<b>Instrumentos</b>			
Data Logger y sensor de presión	0	2.648	2.648
Panel solar y regulador de voltaje	0	500	500
Batería	0	50	50
<b>Total</b>	<b>16.190</b>	<b>3.198</b>	<b>19.388</b>

Fuente: Elaboración propia.

Los valores que se incluyen en el anterior cuadro corresponden a precios de mercado que incluyen IVA<sup>33</sup> (precios privados), para lo cual es necesario realizar algunas correcciones para obtener su valor social, según se muestra en el siguiente cuadro.

<sup>33</sup> Tasa vigente del IVA es de 19%.

**Cuadro N°16. Costo Social Estación Fluviométrica Digital.  
(M\$ Oct 2006)**

Ítem	Costo Privado	Costo sin IVA (19%)	Costo antes de aplicar Factor de Corrección.	Factor de Corrección MIDEPLAN	Costo Social
<b>Inversiones</b>					
Componente Nacional	14.571	12.245	12.245	1,00	12.245
Componente Importado	3.198	2.687	2.687	1,01	2.714
<b>Mano de Obra</b>					
Calificada /*	1.619		1.619	0,98	1.586
Semi-Calificada				0,68	0
No Calificada				0,62	0
<b>TOTAL</b>	<b>19.388</b>		<b>16.551</b>		<b>16.545</b>
Nota: /* Se supuso como mano de obra el 10% del valor en obras civiles (1.619.000=16.190.000*0,1).					

Fuente: Elaboración propia.

Los instrumentos se reemplazan cada 10 años (MM\$2,71 por estación a precios sociales).

Los costos de operación y mantenimiento se han estimado en MM\$2,93 (precios privados) lo que representa un 15,1% de la inversión inicial<sup>34</sup>.

No se considera valor residual por cuanto los activos involucrados son muy específicos y de muy rápida obsolescencia por lo que su valor económico al final de su vida útil es casi nulo<sup>35</sup>.

<sup>34</sup> El valor monetario resulta del análisis realizado a la red actual. Ver Anexo N°1.

<sup>35</sup> No se ha considerado para efectos de este estudio analizar una posible venta como chatarra. A priori no se visualiza un mercado de desechos para estos equipos.

b) Ampliación Red Hidrometeorológica: Pluviómetros.

La implementación de cada estación pluviométrica alcanza un costo de MM\$2,0, lo que da un total de MM\$254 para las 127 estaciones que se proponen.

**Cuadro N°17. Costo Social Estación Pluviométrica.  
(M\$ Oct 2006)**

	Costo Privado	Costo sin IVA (19%)	Costo antes de aplicar Factor de Corrección.	Factor de Corrección MIDEPLAN	Costo Social
<b>Inversiones</b>					
Componente Nacional /*	1.080	907.563	908	1,00	908
Componente Importado	800	672.269	672	1,01	679
<b>Mano de Obra</b>					
Calificada /**	120		120	0,98	117
Semi-Calificada				0,68	0
No Calificada				0,62	0
<b>TOTAL</b>	<b>2.000</b>		<b>1.700</b>		<b>1.704</b>
Nota: /* Componente nacional es de \$1.200.000, de los cuales \$120.000 se supuso mano de obra calificada. /** Se supuso como mano de obra el 10% del valor de la componente nacional ( $120.000=1.200.000*0,1$ ).					

Fuente: Elaboración propia.

Los costos de operación y mantenimiento se han estimado en M\$700 (precios privados) lo que representa un 35,0% de la inversión inicial<sup>36</sup>.

No se considera valor residual por cuanto los activos involucrados son muy específicos y de muy rápida obsolescencia por lo que su valor económico al final de su vida útil es casi nulo<sup>37</sup>.

<sup>36</sup> El valor monetario resulta del análisis realizado a la red actual. Ver Anexo N°1.

<sup>37</sup> No se ha considerado para efectos de este estudio analizar una posible venta como chatarra. A priori no se visualiza un mercado de desechos para estos equipos.

c) Ampliación Red Hidrometeorológica: Temperatura (Climatológicas).

El costo de implementación de cada estación hidrometeorológica con medición de temperatura se ha estimado en MM\$15, lo que da un total de MM\$840 para las 56 estaciones que se contemplan en el plan.

**Cuadro N°18. Costo Social Estación Hidrometeorológica (Temperatura). (M\$ Oct 2006)**

	Costo Privado	Costo sin IVA (19%)	Costo antes de aplicar Factor de Corrección.	Factor de Corrección MIDEPLAN	Costo Social
<b>Inversiones</b>					
Componente Nacional /*	9.000	7.563	7.563	1,00	7.563
Componente Importado	5.000	4.202	4.202	1,01	4.244
<b>Mano de Obra</b>					
Calificada /**	1.000		1.000	0,98	980
Semi-Calificada				0,68	0
No Calificada				0,62	0
<b>TOTAL</b>	<b>15.000</b>		<b>12.765</b>		<b>12.787</b>
Nota: /* Componente nacional es de \$10.000.000, de los cuales \$1.000.000 se supuso mano de obra calificada. /** Se supuso como mano de obra el 10% del valor de la componente nacional ( $1.000.000=10.000.000*0,1$ ).					

Fuente: Elaboración propia.

Los costos de operación y mantenimiento se han estimado en M\$700 (precios privados) lo que representa un 4,67% de la inversión inicial<sup>38</sup>.

No se considera valor residual por cuanto los activos involucrados son muy específicos y de muy rápida obsolescencia por lo que su valor económico al final de su vida útil es casi nulo<sup>39</sup>.

<sup>38</sup> El valor monetario resulta del análisis realizado a la red actual. Ver Anexo N°1.

<sup>39</sup> No se ha considerado para efectos de este estudio analizar una posible venta como chatarra. A priori no se visualiza un mercado de desechos para estos equipos.

#### IV.1.2.2. Beneficiarios del programa y sus beneficios.

Contar con una mejor calidad en la estadística disponible, se traduce en mejoras en todas aquellas actividades que utilizan los registros históricos para su desarrollo. En general, estas actividades corresponden a las de diseño y planificación. Los principales beneficiarios que se identifican para este programa se listan en el siguiente cuadro.

**Cuadro N°19. Beneficios del Programa Aumento Densidad Red Fluviométrica y Red Hidrometeorológica.**

Beneficiario	Actividad	Beneficio
CDEC-SIC	Programación Semanal de Abastecimiento de Energía.	Disminución del error en cálculo de CMg por disminución en el error en la estimación de los caudales generados.
Dirección de Obras Hidráulicas (DOH)	Diseño de Embalses.	Ahorros en inversión por disminución del error en la estimación de la variable de diseño.
	Diseño de Defensas Fluviales.	Ahorros en inversión por disminución del error en la estimación de la variable de diseño.
	Diseño de Obras de Riego	Ahorros en inversión por disminución del error en la estimación de la variable de diseño.
	Diseño de Evacuación Aguas Lluvias.	Ahorros en inversión por disminución del error en la estimación de la variable de diseño.
Dirección de Vialidad (DV)	Diseño de Evacuación de Aguas Lluvias en Caminos.	Ahorros en inversión por disminución del error en la estimación de la variable de diseño.
Sector Privado: Generación de Energía Hidroeléctrica.	Construcción Centrales de Embalse.	Ahorros en inversión por disminución del error en la estimación de la variable de diseño.
	Construcción Centrales de Pasada.	Ahorros en inversión por disminución del error en la estimación de la variable de diseño.
Organizaciones de Usuarios (Regantes)	Distribución de agua según derechos de los asociados.	Ahorros por disminución del error en la estimación del caudal de agua a distribuir.
Dirección General de Aguas (DGA)	Asignación Derechos de Agua.	Ahorros por reducción del error en la estimación de los caudales disponibles para ser asignados.

Fuente: Elaboración Propia.

**Cuadro N°20. Resumen Beneficios (MM\$ Oct 2006).**

AÑO	CDEC SIC	DOH Embalse Presa	DOH Embalse Vert.	DOH Embalse O.Desvío	DOH D.Fluv.	DOH O.Riego	DOH A.Lluvias (Cauces)	DOH A.Lluvias (Colectores)	Vialidad A.Lluvias	Organ. de Usuarios (Regantes)	Constr. Cen. Embalse.	Constr. Cen. Pasada	DGA Asig.Der. de Agua	Total
1	18,9	0,9	0,5	0,6	5,0	5,0	4,4	2,0	2,3	28,0	0,0	0,0	14,4	<b>82,1</b>
2	39,7	0,8	0,4	0,5	12,4	9,8	13,4	2,2	5,1	56,0	53,0	13,3	28,8	<b>235,3</b>
3	62,5	1,3	0,6	0,8	19,5	15,4	21,1	3,5	8,0	84,0	79,6	19,9	43,3	<b>359,3</b>
4	87,5	1,8	0,9	1,1	27,3	21,6	29,5	4,9	11,1	111,9	106,1	26,5	57,7	<b>488,0</b>
5	114,8	2,3	1,2	1,5	35,8	28,3	38,7	6,5	14,6	139,9	132,6	33,2	72,1	<b>621,6</b>
6	144,7	2,9	1,5	1,9	45,1	35,7	48,8	8,1	18,4	167,9	159,1	39,8	86,5	<b>760,5</b>
7	177,2	3,5	1,8	2,3	55,2	43,7	59,8	10,0	22,6	195,9	185,7	46,4	101,0	<b>905,1</b>
8	212,7	4,3	2,2	2,8	66,3	52,5	71,8	12,0	27,1	223,9	212,2	53,1	115,4	<b>1.056,0</b>
9	251,2	5,0	2,6	3,3	78,3	62,0	84,8	14,1	32,0	251,9	238,7	59,7	129,8	<b>1.213,3</b>
10	293,1	5,9	3,0	3,8	91,3	72,3	98,9	16,5	37,3	279,8	265,2	66,3	144,2	<b>1.377,8</b>
11	338,6	6,8	3,5	4,4	105,5	83,5	114,2	19,1	43,1	307,8	291,7	73,0	158,7	<b>1.549,8</b>
12	387,8	7,8	4,0	5,1	120,8	95,7	130,8	21,8	49,4	335,8	318,3	79,6	173,1	<b>1.729,9</b>
13	441,1	8,8	4,5	5,7	137,4	108,8	148,8	24,8	56,2	363,8	344,8	86,2	187,5	<b>1.918,6</b>
14	498,8	10,0	5,1	6,5	155,4	123,0	168,3	28,1	63,5	391,8	371,3	92,9	201,9	<b>2.116,6</b>
15	561,2	11,2	5,8	7,3	174,8	138,4	189,3	31,6	71,4	419,8	397,8	99,5	216,4	<b>2.324,5</b>
16	628,5	12,6	6,5	8,2	195,8	155,0	212,0	35,4	80,0	447,7	424,4	106,1	230,8	<b>2.543,0</b>
17	701,2	14,0	7,2	9,1	218,5	173,0	236,5	39,5	89,3	475,7	450,9	112,8	245,2	<b>2.772,8</b>
18	779,5	15,6	8,0	10,2	242,9	192,3	263,0	43,9	99,2	503,7	477,4	119,4	259,6	<b>3.014,7</b>
19	864,0	17,3	8,9	11,3	269,2	213,1	291,5	48,6	110,0	531,7	503,9	126,0	274,0	<b>3.269,5</b>
20	954,9	19,1	9,8	12,4	297,5	235,5	322,2	53,7	121,6	559,7	530,4	132,7	288,5	<b>3.538,1</b>
21	1.052,8	21,1	10,8	13,7	328,0	259,7	355,2	59,2	134,0	587,7	557,0	139,3	302,9	<b>3.821,4</b>
22	1.158,1	23,2	11,9	15,1	360,8	285,7	390,7	65,2	147,4	615,7	583,5	145,9	317,3	<b>4.120,4</b>
23	1.271,3	25,4	13,1	16,6	396,1	313,6	428,9	71,5	161,8	643,6	610,0	152,6	331,7	<b>4.436,2</b>
24	1.392,9	27,9	14,4	18,2	434,0	343,6	469,9	78,4	177,3	671,6	636,5	159,2	346,2	<b>4.769,9</b>
25	1.523,5	30,5	15,7	19,9	474,6	375,8	514,0	85,7	193,9	699,6	663,0	165,8	360,6	<b>5.122,6</b>
26	1.663,6	33,3	17,1	21,7	518,3	410,3	561,2	93,6	211,8	727,6	689,6	172,5	375,0	<b>5.495,7</b>
27	1.814,0	36,3	18,7	23,6	565,2	447,4	612,0	102,1	230,9	755,6	716,1	179,1	389,4	<b>5.890,4</b>
28	1.975,2	39,5	20,4	25,7	615,4	487,2	666,4	111,2	251,5	783,6	742,6	185,7	403,9	<b>6.308,2</b>
29	2.148,1	43,0	22,1	28,0	669,2	529,8	724,7	120,9	273,5	811,5	769,1	192,4	418,3	<b>6.750,6</b>
30	2.333,2	46,7	24,0	30,4	726,9	575,5	787,1	131,3	297,0	839,5	795,7	199,0	432,7	<b>7.219,2</b>

Los beneficios se estimaron según el detalle de cálculo incluido en el Anexo N°8, los cuales se han resumido y presentado en el cuadro anterior. Cabe señalar que en el cálculo de estos beneficios se han utilizado algunos parámetros, testeados en el análisis costo-beneficio que se presenta más adelante, y que se describen someramente a continuación.

- CDEC-SIC: Los beneficios se han estimado considerando el impacto que produce la mejora del programa en el error que se pueda cometer con el modelo de despacho hidro-térmico utilizado en la programación de centrales para abastecer la demanda proyectada de energía.
- DOH y Vialidad: En el caso de este tipo de obras de infraestructura, el beneficio estimado corresponde a la reducción del error en la estimación de las variables de diseño lo que implica una disminución en el error de los valores de inversión. El cálculo incluyó el uso de ciertas elasticidades, siendo éstas los principales parámetros de estimación.
- Privados – Construcción Centrales Hidroeléctricas: En este caso se utilizó como valor de la inversión, un precio estándar por MW instalado y una proyección de la capacidad a instalar por año para este tipo de centrales.
- Sociedades de Canalistas: Los beneficios estimados suponen un mejoramiento en el error que se comete en la distribución del agua a los usuarios de los canales, el cual se ha valorizado considerando el precio del agua que ha utilizado la Superintendencia de Servicios Sanitarios en sus últimos procesos tarifarios y la demanda por agua para riego.
- DGA – Asignación de derechos: Los beneficios asociados a este beneficiario suponen una cierta cantidad de derechos de agua con los cuales se debe lidiar año a año, y como el programa disminuye el error en la estimación de caudales disponibles. Para ello se utilizó información de solicitudes de derechos consuntivos permanentes y el valor del agua que ha utilizado la Superintendencia de Servicios Sanitarios en sus últimos procesos tarifarios para su valorización.

#### IV.1.2.3.

## Análisis Costo-Beneficio

### a) Resultados Básicos.

En los cuadros siguientes se presentan en detalle los flujos de costos y beneficios utilizados para la determinación de los indicadores de rentabilidad del programa de mejoramiento que aumenta el número de estaciones de la Red Fluviométrica y de la Red Hidrometeorológica. El horizonte de análisis supuesto es de 30 años de operación del proyecto, lo cual en adición al año inicial de implementación da un horizonte total de 31 años para efectos de las estimaciones de valor presente. La implementación del programa se ha estimado que se realiza en el año 2008, obteniéndose beneficios a partir del año siguiente momento en que las estaciones mejoradas entran en operación. Se ha supuesto que los flujos monetarios se obtienen todos al final de cada período, los cuales han sido descontados utilizando la tasa social de descuento de 8%<sup>40</sup>.

---

<sup>40</sup> Tasa social de descuento calculada por MIDEPLAN.

**Cuadro N°21. Flujo Neto de Beneficios Programa de Mejoramiento:  
Aumento Densidad – Red Fluviométrica y Red  
Hidrometeorológica (MM\$ Oct 2006)**

Año	Inversión	O&M	Costos	Ben. Total	Beneficio Neto
0	3.364,7	0,0	3.364,7	0,0	-3.364,7
1	0,0	477,2	477,2	82,1	-395,2
2	0,0	477,2	477,2	235,3	-241,9
3	0,0	477,2	477,2	359,3	-117,9
4	0,0	477,2	477,2	488,0	10,7
5	0,0	477,2	477,2	621,6	144,3
6	0,0	477,2	477,2	760,5	283,3
7	0,0	477,2	477,2	905,1	427,9
8	0,0	477,2	477,2	1.056,0	578,7
9	0,0	477,2	477,2	1.213,3	736,1
10	722,9	477,2	1.200,1	1.377,8	177,7
11	0,0	477,2	477,2	1.549,8	1.072,6
12	0,0	477,2	477,2	1.729,9	1.252,6
13	0,0	477,2	477,2	1.918,6	1.441,4
14	0,0	477,2	477,2	2.116,6	1.639,4
15	0,0	477,2	477,2	2.324,5	1.847,3
16	0,0	477,2	477,2	2.543,0	2.065,8
17	0,0	477,2	477,2	2.772,8	2.295,6
18	0,0	477,2	477,2	3.014,7	2.537,5
19	0,0	477,2	477,2	3.269,5	2.792,3
20	722,9	477,2	1.200,1	3.538,1	2.338,0
21	0,0	477,2	477,2	3.821,4	3.344,2
22	0,0	477,2	477,2	4.120,4	3.643,2
23	0,0	477,2	477,2	4.436,2	3.959,0
24	0,0	477,2	477,2	4.769,9	4.292,7
25	0,0	477,2	477,2	5.122,6	4.645,4
26	0,0	477,2	477,2	5.495,7	5.018,4
27	0,0	477,2	477,2	5.890,4	5.413,1
28	0,0	477,2	477,2	6.308,2	5.831,0
29	0,0	477,2	477,2	6.750,6	6.273,4
30	722,9	477,2	1.200,1	7.219,2	6.019,1
VNA	3.926,4	5.372,5	9.299,0	18.867,4	9.568,4

Fuente: Elaboración propia.

## Cuadro N°22. Indicadores de Rentabilidad.

Indicador	Valor
VAN (MM\$)	9.568
TIR (%)	15,6%
B/C	2,03
Año Recua.	16
IVAN	2,44

Fuente: Elaboración Propia

Como se aprecia del cuadro, el programa presenta un VAN de MM\$9.568 con un TIR de un 15,6%, lo que indica que el programa de aumento de densidad de la red es rentable. La relación B/C estimada en 2,03 señala que los beneficios actualizados superan en más de 2 veces los costos de inversión, operación y mantenimiento. El indicador IVAN estimado, medida de rentabilidad en el sentido que entrega el retorno en valor presente por cada unidad monetaria invertida (medida también en valor presente), es igual a 3,02. La inversión se estima se recupera al final del año 16.

### b) Análisis de Sensibilidad.

Este análisis toma en cuenta el efecto en los principales indicadores de rentabilidad del programa debido a la variación de algunas variables y supuestos utilizados en la evaluación, en particular por variaciones en los costos de inversión y en algunos de los parámetros usados en la estimación de beneficios. Entre estos últimos, los que se consideraron de interés de sensibilizar se explican brevemente a continuación clasificados según el tipo de beneficiario.

- Beneficios CDEC-SIC.
  - Error SIC: Corresponde a la estimación del error que se comete con el modelo utilizado en la programación de centrales.
  - Proyección de Energía: Tasa de proyección de generación de energía.
- Beneficios DOH, Vialidad y Construcción Centrales.
  - Elasticidades: Relacionan el cambio porcentual en inversiones con relación a un cambio porcentual en las variables de diseño.
  - Proyección PIB: Se ha supuesto que las inversiones crecen en la medida que el ingreso nacional también lo hace.

- Asociaciones de Usuarios.
  - Error Dist. Agua Canal.: Error cometido en la distribución de agua asociado a la información de caudales.
- Todos los beneficiarios.
  - Mejoras: Reducción en el error en la estimación de las variables de diseño, que propone el programa.

Los resultados de este análisis se muestran en el cuadro que sigue.

**Cuadro N°23. Análisis de Sensibilidad.**

Indicadores de Rentabilidad		VAN MM\$		TIR %		B/C	
Valores Base		9.568		15,6%		2,03	
Variable	Variación	VAN MM\$	Δ%	TIR %	Δ%	B/C	Δ%
Inversión	10%	8.695	-9,1%	14,5%	-6,8%	1,85	-8,6%
	-10%	10.442	9,1%	16,8%	7,8%	2,24	10,4%
Beneficios	10%	11.453	19,7%	16,7%	7,3%	2,23	10,0%
	-10%	7.684	-19,7%	14,4%	-7,8%	1,83	-10,0%
Proy. Energía /*	10%	10.098	5,5%	15,8%	1,5%	2,09	2,8%
Error SIC	10%	10.050	5,0%	15,8%	1,7%	2,08	2,6%
	-10%	9.086	-5,0%	15,3%	-1,8%	1,98	-2,6%
Tasa Crec. PIB	10%	10.022	4,7%	15,8%	1,2%	2,08	2,4%
	-10%	9.155	-4,3%	15,4%	-1,2%	1,98	-2,2%
Elasticidades	10%	10.487	9,6%	16,1%	3,6%	2,13	4,9%
	-10%	8.650	-9,6%	15,0%	-3,7%	1,93	-4,9%
Error Dist. Agua Canal.	10%	9.889	3,4%	15,8%	1,4%	2,06	1,7%
	-10%	9.247	-3,4%	15,4%	-1,4%	1,99	-1,7%
Mejoras	10%	11.455	19,7%	16,7%	7,3%	2,23	10,0%
	-10%	7.682	-19,7%	14,4%	-7,8%	1,83	-10,0%

Nota:  
/\* Sólo se consideró una sensibilidad con el 10% de aumento, ya que el supuesto de 5% de crecimiento anual en los consumos de energía eléctrica se estima que debe ser el mínimo.

Fuente: Elaboración Propia.

El cuadro anterior muestra indicadores de rentabilidad que mantienen la decisión de implementar el programa. La mayor sensibilidad en el VAN se produce al hacer variar los beneficios o las “mejoras” que producen el programa en cuanto a la reducción de incertidumbre por contar con estadísticas de mejor calidad. La TIR también presenta ciertas variaciones aunque menores al VAN, con un valor máximo del orden del 7% (elasticidad 0,7).

### c) Análisis de Riesgo.

Para efectos de tener una estimación de los riesgos involucrados en invertir en este programa se ha desarrollado una simulación en base al análisis de Montecarlo, en el cual a cada parámetro de interés se le asigna una distribución de probabilidad realizando 1.000 extracciones simultáneas de cada uno de ellos.<sup>41</sup>

Los principales supuestos utilizados han sido:

- Inversión: distribución uniforme centrada en el valor base, con límites de  $\pm 10\%$ .
- Error CDEC: distribución uniforme centrada en el valor base (15%) con límites de  $\pm 10\%$ .
- Impacto CDEC: distribución triangular centrada en el valor base (20%) con límites de  $\pm 20\%$ .
- Proy. Energía.: distribución triangular con valor mínimo igual a 5%, que coincide con el valor más probable, y valor máximo en 7%.<sup>42</sup>
- MW año: distribución triangular centrada en el valor base (450 MW/año) con límites de  $\pm 10\%$ .
- Costo por MW: distribución uniforme centrada en el valor base con valor mínimo de 1,0 y 1,2.
- Valor Elasticidades<sup>43</sup>: para cada caso se consideró una distribución triangular centrada en sus valores base, con límites de  $\pm 10\%$ .
- Tasa de crecimiento del PIB %: distribución triangular centrada en su valor base (5%) con límites de  $\pm 10\%$ .
- Error Distr. Agua Canalistas: distribución triangular centrada en el valor base (25%) con límites de  $\pm 20\%$ .
- Anualidad derechos de agua: distribución triangular centrada en su valor base (MM\$29.475)  $\pm 10\%$ .
- Mejoras: distribuciones triangulares centradas en sus valores bases (7,1%, 2% y 10%) con valor límites de  $\pm 10\%$ .

A excepción de la inversión, cada uno de estos parámetros ha sido utilizado en la estimación de beneficios. Los detalles de cálculo se muestran en el anexo correspondiente<sup>44</sup>. El análisis arroja los siguientes resultados principales:

---

<sup>41</sup> Para estas simulaciones se ha utilizado el programa Crystall Ball.

<sup>42</sup> Para dar cuenta que la proyección de crecimiento de generación de energía eléctrica es mayor que 5% pero cada vez con menor probabilidad.

<sup>43</sup> Los beneficiarios para los cuales se calculó una elasticidad inversión son: DOH, Vialidad, y Privados con inversión en centrales hidroeléctricas. Para detalles de sus valores ver Anexo N°6.

<sup>44</sup> Ver Anexo N°8.

### Cuadro N°24. Análisis de Riesgo.

INDICADORES RENTABILIDAD	VALOR
VAN promedio (MM\$)	10.755
VAN mediano (MM\$)	10.709
Desv. Std. VAN (MM\$)	1.285
VAN mínimo (MM\$)	7.380
VAN máximo (MM\$)	14.607
Coef. Var. VAN (%)	11,9%
TIR promedio (%)	16,2%
TIR mediana	16,1%
TIR Mínima (%)	13,8%
Prob. VAN > 0	99,9%
<b>Contribución a la varianza del VAN</b>	
Mejora	36,8%
Proy. Energía	17,1%
Inversión	16,8%
Impacto CDEC	12,4%
Error CDEC	5,0%
Resto parámetros	12,0%

Fuente: Elaboración Propia

Del cuadro se aprecia que los indicadores de rentabilidad promedio siguen siendo muy favorables, más aún si se considera que la probabilidad de obtener un VAN positivo es de un 99,9%. Este resultado indica que el programa es altamente recomendable, incluso bajo los supuestos de aleatoriedad considerados. La variabilidad del VAN se considera moderada si se observa que su coeficiente de variación es de un 12%. La variable que más incide en su varianza es la “Mejoras” del programa, responsable del 37% de ella. Le sigue la proyección de energía con un 17%, que junto al Impacto y Error asociado al CDEC suman un 34%. Estos parámetros inciden directamente en la estimación de beneficios de este último. Luego, una mayor precisión en el VAN implica revisar con detalle tanto las mejoras del programa como la estimación de beneficio asociado al CDEC.<sup>45</sup>

Finalmente, con base en los resultados obtenidos, se recomienda la implementación del programa de aumento de densidad de redes de medición.

<sup>45</sup> Debido a los fuertes supuestos realizados en la estimación de beneficios por parte del CDEC se realizó el ejercicio de suprimirlos, resultando que el VAN del programa sigue siendo altamente positivo (MM\$4.748) y una TIR muy razonable (12,5%).

#### IV.1.3. Programa de mejoramiento: Captura de datos en tiempo real - Red Fluviométrica y Red Hidrometeorológica.

La red Fluviométrica está orientada a la caracterización de los caudales en los cauces más importante en el país, y la red hidrometeorológica debe medir precipitación, líquida y sólida, evaporación, temperatura, variables climatológicas, entre otras.

El programa de mejoramiento propuesto contempla la implementación de 164 estaciones con plataforma satelital de la Red Fluviométrica, 150 estaciones hidrometeorológicas ubicadas en estaciones fluviométricas digitales (100 de ellas del programa complementario de control de extracciones en canales) y 20 estaciones nivométricas, 15 de las cuales son acondicionamiento de rutas de nieve existentes.

##### IV.1.3.1. Costos del programa.

El costo de implementación de este programa se ha estimado en MM\$2.048,1 (US\$3,9 millones), según detalle que se adjunta en el siguiente cuadro.

**Cuadro N°25. Montos de Inversión Ampliación Redes**

Red Aumentada	N° Estaciones Adicionales	Monto Inversión (MM\$ Oct 2006)
Fluviométrica	164	794,4
Hidrometeorológica (pluviómetros)	150	175,5
Fluviométrica /* (control de extracciones)	100	923,2
Hidrometeorológica /** (Rutas de nieve)	20	155,0
<b>TOTAL</b>	<b>434</b>	<b>2.048,1</b>

Fuente: Elaboración Propia.

El detalle de estas inversiones se presenta a continuación.

a) Red Fluviométrica Satelital.

La implementación de una estación fluviométricas de tipo digital es de MM\$6.099, lo que arroja un total de MM\$1.000,2 para las 164 estaciones que se contemplan.

**Cuadro N°26. Costo Acondicionamiento Estación Fluviométrica Satelital. (M\$ Oct 2006)**

Ítem	Componente Nacional	Componente Extranjera	Costo Total
<b>Obras Civiles</b>			
Confección e Instalación Torre 6 metros.	2.000	0	2.000
<b>Instrumentos</b>			
Equipos de transmisión y antena	0	2.844	2.844
<b>Total</b>	<b>2.000</b>	<b>2.844</b>	<b>4.844</b>

Los valores que se incluyen en el anterior cuadro corresponden a precios de mercado que incluyen IVA<sup>46</sup> (precios privados), para lo cual es necesario realizar algunas correcciones para obtener su valor social, según se muestra en el siguiente cuadro.

**Cuadro N°27. Costo Social Acondicionamiento Estación Fluviométrica Satelital (M\$ Oct 2006)**

	Costo Privado	Costo sin IVA (19%)	Costo antes de aplicar Factor de Corrección.	Factor de Corrección MIDEPLAN	Costo Social
<b>Inversiones</b>					
Componente Nacional	1.800	1.513	1.513	1,00	1.513
Componente Importado	2.844	2.390	2.390	1,01	2.413
<b>Mano de Obra</b>					
Calificada /*	200		200	0,98	196
Semi-Calificada				0,68	
No Calificada				0,62	
<b>TOTAL</b>	<b>4.844</b>		<b>4.103</b>		<b>4.122</b>
Nota: /* Se supuso como mano de obra el 10% del valor en instalación de la antena y torre (200.000=2.000.000*0,1)					

Fuente: Elaboración propia.

<sup>46</sup> Tasa vigente del IVA es de 19%.

Los instrumentos se reemplazan cada 10 años (MM\$2,41 por estación a precios sociales).

Los costos de operación y mantenimiento incrementales se han estimado nulos.

No se considera valor residual por cuanto los activos involucrados son muy específicos y de muy rápida obsolescencia por lo que su valor económico al final de su vida útil es casi nulo<sup>47</sup>.

b) Red Hidrometeorológica Satelital: Climatológicas (PP, Humedad y T°).

La implementación de las estaciones hidrometeorológicas satelitales alcanza un costo de MM\$1,17 (compra de sensores) arrojando un total de MM\$175,5 para las 150 estaciones que se proponen.

**Cuadro N°28. Costo Social Acondicionamiento Estación Hidrometeorológica Satelital - Climatológica. (M\$ Oct 2006)**

	Costo Privado	Costo sin IVA (19%)	Costo antes de aplicar Factor de Corrección.	Factor de Corrección MIDEPLAN	Costo Social
<b>Inversiones</b>					
Componente Nacional	0	0	0	1	0
Componente Importado /*	1.170	983	983	1,01	993
<b>Mano de Obra</b>					
Calificada /*	0		0	0,98	0
Semi-Calificada	0		0	0,68	0
No Calificada	0		0	0,62	0
<b>TOTAL</b>	<b>1.170</b>		<b>983</b>		<b>993</b>
Nota:					
/* Corresponde a la totalidad de compra de equipos.					

Fuente: Elaboración propia.

<sup>47</sup> No se ha considerado para efectos de este estudio analizar una posible venta como chatarra. A priori no se visualiza un mercado de desechos para estos equipos.

Los costos de operación y mantenimiento incrementales se han estimado nulos.

No se considera valor residual por cuanto los activos involucrados son muy específicos y de muy rápida obsolescencia por lo que su valor económico al final de su vida útil es casi nulo<sup>48</sup>.

Este acondicionamiento de las 150 estaciones, supone la existencia de la implementación del plan de control de extracciones en canales particulares. Este último consistente en 100 estaciones fluviométricas de tipo satelital. Por tal motivo es necesaria la inclusión de estos costos<sup>49</sup>.

La construcción de una nueva estación fluviométricas de tipo satelital es de MM\$9.232, lo que arroja un total de MM\$923.200 para las 100 estaciones que se contemplan en el control de extracciones en canales.

**Cuadro N°29. Costo Estación Fluviométrica Satelital.  
(M\$ Oct 2006)**

Ítem	Componente Nacional	Componente Extranjera	Costo Total
<b>Obras Civiles</b>			
Confección e Instalación Torre 6 metros.	2.000	0	2.000
Caseta de Obras Data Logger y Sensor de Presión	1.190	0	1.190
<b>Instrumentos</b>			
Data Logger y sensor de presión	0	2.648	2.648
Equipos de transmisión y antena	0	2.844	2.844
Panel solar y regulador de voltaje	0	500	500
Batería	0	50	50
<b>Total</b>	<b>3.190</b>	<b>6.042</b>	<b>9.232</b>

Fuente: Elaboración propia.

<sup>48</sup> No se ha considerado para efectos de este estudio analizar una posible venta como chatarra. A priori no se visualiza un mercado de desechos para estos equipos.

<sup>49</sup> De esta forma también es posible asociar los beneficios que se han estimado para este caso.

Los valores que se incluyen en el anterior cuadro corresponden a precios de mercado que incluyen IVA<sup>50</sup> (precios privados), para lo cual es necesario realizar algunas correcciones para obtener su valor social, según se muestra en el siguiente cuadro.

**Cuadro N°30. Costo Social Estación Fluviométrica Satelital (M\$ Oct 2006)**

	Costo Privado	Costo sin IVA (19%)	Costo antes de aplicar Factor de Corrección.	Factor de Corrección MIDEPLAN	Costo Social
<b>Inversiones</b>					
Componente Nacional	2.871	2.413	2.413	1,00	2.413
Componente Importado	6.042	5.077	5.077	1,01	5.128
<b>Mano de Obra</b>					
Calificada /*	319		319	0,98	312
Semi-Calificada				0,68	
No Calificada				0,62	
<b>TOTAL</b>	<b>9.232</b>		<b>7.809</b>		<b>7.853</b>
Nota:					
/* Se supuso como mano de obra el 10% del valor en instalación de la antena y torre (319.000=3.190.000*0,1)					

Fuente: Elaboración propia.

Los instrumentos se reemplazan cada 10 años (MM\$5,13 por estación a precios sociales).

Los costos de operación y mantenimiento incrementales se han estimado nulos.

No se considera valor residual por cuanto los activos involucrados son muy específicos y de muy rápida obsolescencia por lo que su valor económico al final de su vida útil es casi nulo<sup>51</sup>.

<sup>50</sup> Tasa vigente del IVA es de 19%.

<sup>51</sup> No se ha considerado para efectos de este estudio analizar una posible venta como chatarra. A priori no se visualiza un mercado de desechos para estos equipos.

c) Red Hidrometeorológica: Rutas de Nieve.

El acondicionamiento de 15 rutas de nieve con tecnología satelital implica un desembolso de MM\$7,0 por estación, lo que da un valor total de MM\$105,0.

Básicamente corresponde a compras de equipos importados por lo que su valor social se desprende de descontar el IVA y aplicar el factor de corrección de la divisa (1,01), luego el costo social de acondicionamiento de de un ruta de nieve con tecnología satelital asciende a MM\$ 5,94. Estos equipos deben de reponerse cada 10 años.

En cuanto a la construcción de las 5 nuevas rutas propuestas, se necesita para cada una de ella una inversión de MM\$10,0 por estación, lo que arroja un total de MM\$50,0 millones de pesos. El cuadro siguiente muestra los ajustes realizados para llegar al costo social respectivo.

**Cuadro N°31. Costo Social Estación Hidrometeorológica (Temperatura). (M\$ Oct 2006)**

	Costo Privado	Costo sin IVA (19%)	Costo antes de aplicar Factor de Corrección.	Factor de Corrección MIDEPLAN	Costo Social
<b>Inversiones</b>					
Componente Nacional	2.700	2.269	2.269	1	2.269
Componente Importado	7.000	5.882	5.882	1,01	5.941
<b>Mano de Obra</b>		0	0		0
Calificada /**	300	0	300	0,98	294
Semi-Calificada		0	0	0,68	0
No Calificada		0	0	0,62	0
<b>TOTAL</b>	<b>10.000</b>	<b>0</b>	<b>8.451</b>		<b>8.504</b>
Nota: /* Se supuso como mano de obra el 10% del valor de la componente nacional (300.000=3.000.000*0,1)					

Fuente: Elaboración propia.

La componente importada corresponden a los equipos que se mencionaron con anterioridad y que se reemplazan cada 10 años.

El costo incremental de operación y mantenimiento se ha estimado nulo.

No se considera valor residual por cuanto los activos involucrados son muy específicos y de muy rápida obsolescencia por lo que su valor económico al final de su vida útil es casi nulo<sup>52</sup>.

#### IV.1.3.2. Beneficiarios del programa y sus beneficios.

Contar con información en tiempo real implica utilizar los datos con fines de gestión de corto plazo. Es así como las decisiones pueden ir variando en la medida que se conozcan la variación de los parámetros de interés en forma continua. En el caso particular de la Red Fluviométrica o Hidrometeorológica, se podría contar con información horaria, lo que para todos los casos representa información en “tiempo real”.

Los principales beneficiarios de este programa corresponden los que se listan a continuación<sup>53</sup>.

**Cuadro N°32. Beneficios del Programa Captura de Datos Tiempo Real: Red Fluviométrica y Red Hidrometeorológica.**

Beneficiario	Actividad	Beneficio
CDEC-SIC	Revisión diaria de la programación semanal	Disminución del error en el pronóstico de los caudales de las centrales de pasada, por utilizar información del día anterior.
Organizaciones de Usuarios	Distribución de agua según derechos de los asociados.	Disminución del error en la distribución del agua para riego.

Fuente: Elaboración propia.

<sup>52</sup> No se ha considerado para efectos de este estudio analizar una posible venta como chatarra. A priori no se visualiza un mercado de desechos para estos equipos.

<sup>53</sup> Existen otros beneficios asociados, como por ejemplo, anticipar “ondas” en las crecidas de caudales permitiendo mejorar la gestión de las obras hidráulicas tendientes a mitigar sus efectos adversos no deseados (inundaciones, destrucción de obras de captación, etc.).

Los beneficios se han estimado utilizando una serie de supuestos que se explican brevemente a continuación.

- CDEC-SIC: Los beneficios se han estimado considerando que el programa permite una reducción del error que se pueda cometer con el modelo de despacho hidro-térmico utilizado en la programación de centrales para abastecer la demanda proyectada de energía, y cual sería el impacto final, expresado como un porcentaje, producto de esta mejora.
- Organizaciones de Usuarios: Los beneficios estimados suponen un mejoramiento en el error que se comete en la distribución del agua a los usuarios de los canales, el cual se ha valorizado considerando el precio del agua que ha utilizado la Superintendencia de Servicios Sanitarios en sus últimos procesos tarifarios y la demanda por agua para riego. Adicionalmente, se ha considerado que el acceso a la información satelital se hace en forma moderada, partiendo con un 15% del total de derechos hasta llegar a una tasa efectiva final del 75%.

El Anexo N°8 muestra el detalle de la estimación de beneficios cuyo resumen se muestra en el siguiente cuadro.

**Cuadro N°33. Resumen Beneficios (MM\$ Oct 2006).**

<b>AÑO</b>	<b>CDEC SIC</b>	<b>Organizaciones de Usuarios (Regantes)</b>	<b>Total</b>
1	63,8	249,3	313,1
2	67,0	415,5	482,5
3	70,4	831,0	901,4
4	73,9	1.080,3	1.154,2
5	77,6	1.246,5	1.324,1
6	81,5	1.246,5	1.328,0
7	85,6	1.246,5	1.332,0
8	89,8	1.246,5	1.336,3
9	94,3	1.246,5	1.340,8
10	99,0	1.246,5	1.345,5
11	104,0	1.246,5	1.350,5
12	109,2	1.246,5	1.355,7
13	114,7	1.246,5	1.361,1
14	120,4	1.246,5	1.366,9
15	126,4	1.246,5	1.372,9
16	132,7	1.246,5	1.379,2
17	139,4	1.246,5	1.385,9
18	146,3	1.246,5	1.392,8
19	153,7	1.246,5	1.400,1
20	161,3	1.246,5	1.407,8
21	169,4	1.246,5	1.415,9
22	177,9	1.246,5	1.424,4
23	186,8	1.246,5	1.433,2
24	196,1	1.246,5	1.442,6
25	205,9	1.246,5	1.452,4
26	216,2	1.246,5	1.462,7
27	227,0	1.246,5	1.473,5
28	238,4	1.246,5	1.484,8
29	250,3	1.246,5	1.496,8
30	262,8	1.246,5	1.509,3

Fuente: Elaboración propia.

IV.1.3.3.

### Análisis Costo- Beneficio.

En los cuadros siguientes se presenta en detalle los flujos de costos y beneficios utilizados para la determinación de los indicadores de rentabilidad del programa de registro de datos en tiempo real para la red fluviométrica y la red hidrometeorológica. El horizonte de análisis supuesto es de 30 años de operación del proyecto, lo cual en adición al año inicial de implementación da un horizonte total de 31 años para efectos de las estimaciones de valor presente. La implementación total del programa se ha estimado que se realiza durante el año 2008, obteniéndose beneficios a partir del año siguiente. Se ha supuesto que los flujos monetarios se obtienen todos al final de cada período, los cuales han sido actualizados utilizando la tasa social de descuento de 8%<sup>54</sup>.

---

<sup>54</sup> Tasa social de descuento calculada por MIDEPLAN.

**Cuadro N°34. Flujo Neto de Beneficios Programa de Mejoramiento:  
Captura de Datos en Tiempo Real – Red Fluviométrica y  
Red Hidrometeorológica (MM\$ Oct 2006)**

<b>Año</b>	<b>Inversión</b>	<b>O&amp;M</b>	<b>Costos</b>	<b>Ben. Total</b>	<b>Beneficio Neto</b>
0	1.742,0	0,0	1.742,0	0,0	-1.742,0
1	0,0	249,6	249,6	313,1	63,6
2	0,0	249,6	249,6	482,5	232,9
3	0,0	249,6	249,6	901,4	651,8
4	0,0	249,6	249,6	1.154,2	904,6
5	0,0	249,6	249,6	1.324,1	1.074,5
6	0,0	249,6	249,6	1.328,0	1.078,4
7	0,0	249,6	249,6	1.332,0	1.082,5
8	0,0	249,6	249,6	1.336,3	1.086,7
9	0,0	249,6	249,6	1.340,8	1.091,2
10	1.176,5	249,6	1.426,0	1.345,5	-80,5
11	0,0	249,6	249,6	1.350,5	1.100,9
12	0,0	249,6	249,6	1.355,7	1.106,1
13	0,0	249,6	249,6	1.361,1	1.111,6
14	0,0	249,6	249,6	1.366,9	1.117,3
15	0,0	249,6	249,6	1.372,9	1.123,3
16	0,0	249,6	249,6	1.379,2	1.129,6
17	0,0	249,6	249,6	1.385,9	1.136,3
18	0,0	249,6	249,6	1.392,8	1.143,2
19	0,0	249,6	249,6	1.400,1	1.150,6
20	1.176,5	249,6	1.426,0	1.407,8	-18,2
21	0,0	249,6	249,6	1.415,9	1.166,3
22	0,0	249,6	249,6	1.424,4	1.174,8
23	0,0	249,6	249,6	1.433,2	1.183,7
24	0,0	249,6	249,6	1.442,6	1.193,0
25	0,0	249,6	249,6	1.452,4	1.202,8
26	0,0	249,6	249,6	1.462,7	1.213,1
27	0,0	249,6	249,6	1.473,5	1.223,9
28	0,0	249,6	249,6	1.484,8	1.235,3
29	0,0	249,6	249,6	1.496,8	1.247,2
30	1.176,5	249,6	1.426,0	1.509,3	83,2
<b>VNA</b>	<b>2.656,2</b>	<b>2.809,8</b>	<b>5.466,0</b>	<b>13.159,0</b>	<b>7.693,0</b>

Fuente: Elaboración propia.

### Cuadro N°35. Indicadores de Rentabilidad.

Indicador	Valor
VAN (MM\$)	7.693,0
TIR (%)	32,80%
B/C	2,41
Año Recup.	5,00
IVAN	2,90

Fuente: Elaboración Propia

Como se aprecia del cuadro, el programa presenta un VAN de MM\$7.693 con un TIR de un 32,8%, lo que indica que el programa es altamente rentable. La relación B/C estimada en 2,4 señala que los beneficios actualizados superan en más de dos veces los costos de inversión, operación y mantenimiento. El indicador IVAN, medida de rentabilidad en el sentido que entrega el retorno en valor presente por cada unidad monetaria invertida (también en valor presente), es igual a 2,90. La inversión se estima se recupera recién al final del año 5.

#### d) Análisis de Sensibilidad.

Este análisis toma en cuenta el efecto en los principales indicadores de rentabilidad del programa debido a la variación de algunas variables y supuestos utilizados en la evaluación, en particular por variaciones en los costos de inversión y en algunos de los parámetros usados en la estimación de beneficios.

Los parámetros utilizados en la estimación de beneficios, y que se consideraron de interés de sensibilizar, se explican brevemente a continuación según el tipo de beneficiario.

- Beneficios CDEC-SIC.
  - Error SIC: Corresponde a la estimación del error que se comete con el modelo utilizado en la programación de centrales.
  - Proyección de Energía: Tasa de proyección de generación de energía.
- Ambos beneficiarios.
  - Mejoras: Reducción del error que propone el programa.

Los resultados de este análisis se muestran en el cuadro que sigue.

**Cuadro N°36. Análisis de Sensibilidad.**

Indicadores de Rentabilidad		VAN MM\$	TIR %		B/C		
Valores Base		7.693	32,8%		2,41		
Variable	Variación	VAN MM\$	Δ%	TIR %	Δ%	B/C	Δ%
Inversión	10%	7.238	-5,9%	29,8%	-9,2%	2,22	-7,7%
	-10%	8.148	5,9%	36,4%	10,9%	2,63	9,1%
Beneficios	10%	9.009	17,1%	36,1%	10,0%	2,65	10,0%
	-10%	6.377	-17,1%	29,3%	-10,5%	2,17	-10,0%
Proy. Energía	10%	7.710	0,2%	32,8%	0,1%	2,41	0,1%
Error SIC	10%	7.814	1,6%	33,1%	0,9%	2,43	0,9%
	-10%	7.572	-1,6%	32,5%	-0,9%	2,39	-0,9%
Mejoras	10%	9.009	17,1%	36,1%	10,0%	2,65	10,0%
	-10%	6.377	-17,1%	29,3%	-10,5%	2,17	-10,0%
Nota: /* Sólo se consideró una sensibilidad con el 10% de aumento, ya que el supuesto de 5% de crecimiento anual en los consumos de energía eléctrica se estima que debe ser el mínimo..							

Fuente: Elaboración Propia.

El cuadro anterior muestra indicadores de rentabilidad robustos en el sentido de mantener la decisión de implementar el programa independiente de la magnitud y sentido de variación en los supuestos utilizados para la evaluación. El VAN resulta en todos los casos positivos, con valores para la TIR que superan ampliamente el mínimo de 8% exigido.

e) Análisis de Riesgo.

Para efectos de tener una estimación acerca de los riesgos involucrados en invertir en este programa se ha desarrollado una simulación en base a análisis de Montecarlo, en el cual a cada parámetro de interés se le asigna una distribución de probabilidad realizando 1.000 extracciones simultáneas de cada uno de ellos.<sup>55</sup>

Los principales supuestos utilizados han sido:

- Inversión: distribución uniforme centrada en el valor base, con límites de  $\pm 10\%$ .
- Error CDEC: distribución uniforme centrada en el valor base (15%) con límites de  $\pm 10\%$ .
- Impacto CDEC: distribución triangular centrada en su valor base (5%) con límites de  $\pm 10\%$ .
- Proporción Generación Cen. Pasada: distribución triangular centrada en el valor base (25%) con límites de  $\pm 10\%$ .
- Proy. Energía.: distribución triangular con valor mínimo igual a 5%, que coincide con el valor más probable, y valor máximo en 7%.<sup>56</sup>
- Mejoras: distribución triangular centrada en sus valores base<sup>57</sup> con límites de  $\pm 10\%$ .

A excepción de la inversión, cada uno de estos parámetros ha sido utilizado en la estimación de beneficios. Los detalles de su utilización se muestran en el anexo correspondiente<sup>58</sup>.

A partir de los supuestos señalados y efectuando 1000 simulaciones se obtienen los siguientes resultados principales.

---

<sup>55</sup> Para estas simulaciones se ha utilizado el programa Crystall Ball.

<sup>56</sup> Para dar cuenta que la proyección de crecimiento del consumo eléctrico es mayor que 5% pero cada vez con menor probabilidad.

<sup>57</sup> 4% CDEC y 2% canalistas.

<sup>58</sup> Ver Anexo N°8.

**Cuadro N°37. Análisis de Riesgo.**

<b>INDICADORES RENTABILIDAD</b>	<b>VALOR</b>
VAN promedio (MM\$)	7.737
VAN mediano (MM\$)	7.737
Desv. Std. VAN (MM\$)	605
VAN mínimo (MM\$)	6.085
VAN máximo (MM\$)	9.406
Coef. Var. VAN (%)	7,8%
TIR promedio (%)	33,0%
TIR mediana	33,0%
TIR mínima (%)	26,9%
Prob. VAN > 0	99,9%
<b>Contribución a la varianza del VAN</b>	
Mejoras	77,5%
Inversión	19,8%
Error Hidro CDEC	1,6%
Prop. Pasada	1,0%
Impacto	0,1%

Fuente: Elaboración Propia

Del cuadro se aprecia que el VAN promedio al igual que su valor mediano positivos presentan igual valor de MM\$7.737. La TIR promedio y la TIR mediana coinciden con un valor de 33,0% muy por sobre el mínimo exigido de 8%. La probabilidad de obtener un VAN positivo es de un 99,9%, lo cual indica que la recomendación de implementar el programa no debe postergarse.

El coeficiente de variación del VAN bordea el 8%, cuya principal contribución a esta variabilidad está relacionada con la mejora que produce el programa al contar con valores de caudales en tiempo real.

#### *IV.1.4. Programa de mejoramiento: Red de Calidad de Aguas.*

La red de calidad de aguas está orientada al seguimiento de la calidad de los recursos y cuerpos de aguas, con el objetivo de conservar y proteger el recurso hídrico y el medio ambiente asociado.

El programa de mejoramiento de esta red<sup>59</sup> se ha diseñado tomando en consideración la implementación de las futuras Normas Secundarias de Calidad Ambiental de Aguas Superficiales Continentales.

Para ello se ha estimado pertinente la implementación de 96 puntos de muestreos adicionales y 1.527 muestras al año, 108 nuevas estaciones automáticas que permitan el registro continuo de ciertos indicadores de calidad<sup>60</sup>, y la utilización de bioindicadores que complementan las mediciones anteriores en 116 estaciones preexistentes (fluviométricas o de calidad).

Adicionalmente, se considera el monitoreo de 16 lagos, que se suman a la red existente, para lo cual se propone la realización de 4 campañas al año en 3 puntos de muestreo (estaciones) por lago, midiendo 14 parámetros en cada muestra.

##### IV.1.4.1. Costos del programa.

El costo de este programa está estimado con una inversión de MM\$1.275,6 y costos de operación anuales de MM\$560, según el detalle que se muestra a continuación.

---

<sup>59</sup> El Anexo N°2 presenta el análisis detallado de la concepción de este programa.

<sup>60</sup> Se medirían temperatura, pH, conductividad, turbiedad y oxígeno disuelto.

**Cuadro N°38. Costo Plan de Mejoramiento.**

Plan de Mejoramiento	Costo Inversión MM\$	Costo O&M MM\$
Aumento de Puntos de Muestreo y Análisis de Muestras por año	34,10	164,61
Registro Continuo de Parámetros de Calidad /*	1.241,50	293,10
Uso de Bioindicadores.		80,94
Monitoreo de Lagos. /**		21,11
<b>Total</b>	<b>1.257,60</b>	<b>559,76</b>
Notas: /* MM\$955 corresponden a compra de equipos, entre registradores multiparámetros y muestreadores automáticos. /** Calculado sobre un total de 2.688 análisis al año, un costo por campaña de M\$3.000,0 y un costo por análisis de M\$3,39.		

Los valores que se incluyen en el anterior cuadro corresponden a precios de mercado que incluyen IVA<sup>61</sup> (precios privados).

IV.1.4.2. Beneficiarios del programa y sus beneficios.

Debido a la naturaleza de este programa, que como ya se ha dicho, ha sido diseñado sobre la base de dar cumplimiento a las Normas Secundarias de Calidad Ambiental de Aguas Superficiales Continentales, el principal beneficiario corresponde a la Comisión Nacional del Medioambiente, incluyendo las entidades fiscalizadoras que deba coordinar, en el ejercicio de velar por el cumplimiento de tales normas<sup>62</sup>.

Como se mencionara en el capítulo II de este documento (sección II.5), la evaluación de este programa está íntimamente ligada a la evaluación de las normas secundarias de calidad de aguas. En este sentido, el programa de

<sup>61</sup> Tasa vigente del IVA es de 19%.

<sup>62</sup> Esto se desprende de lo que se menciona en la “Guía para el Establecimiento de las Normas Secundarias de Calidad Ambiental para Aguas Continentales Superficiales y Marinas”, (conocido también como “Instructivo Presidencial”). Dentro de estas entidades, y según la norma que se dicte, la DGA es un fiscalizador más.

mejoramiento de la red de medición de calidad de aguas es parte del costo a considerar en la evaluación económica de cada norma secundaria que se quiera emitir. Por lo tanto, los beneficios asociados a la mejora de la red corresponde a todos aquellos impactos negativos (contaminación) evitados que fueron identificados por medio de la red de medición, durante el proceso de fiscalización de dichas normas.

#### IV.1.4.3. Análisis Costo-Beneficio: Aproximación.

El análisis costo-beneficio que corresponde realizar para recomendar la pertinencia o no de implementar los mejoramientos propuestos en este estudio, corresponde a la evaluación socioeconómica de la norma secundaria que se dicte para una cuenca en particular. Esto implica la realización de mediciones y estimaciones que escapan al alcance de este trabajo. Sin embargo, se cuenta al menos con el estudio económico de normas secundarias para la cuenca del Maipú, en el cual se entregan antecedentes adicionales para afirmar que la evaluación de la red de calidad, con el nivel de detalle que se requiere, carece de suficiente información.

En lo que sigue, se presenta un breve resumen de las conclusiones obtenidas en el informe final del “Análisis Económico y Social de la Norma de Calidad Secundaria para la Protección de las Aguas Superficiales Continentales en la Cuenca del Maipo”, realizado por la CONAMA Región Metropolitana de Santiago en Junio del año 2006.

En este estudio se señala que es la propia Ley de Bases del Medio Ambiente (Ley N°19.300 de 1994) la que establece la necesidad de realizar un análisis técnico y económico, lo que forma parte del proceso de dictación de normas, especificando además que se deben evaluar todos los costos y beneficios asociados a ellas.

En lo relativo a la estimación de beneficios, se mencionan como valor económico de éstos los de uso y no uso. Dentro de los primeros están los relacionados con los usos consuntivos y no consuntivos del agua (directos), usos funcionales como el soporte de la vida acuática (indirectos), y los de uso futuro, tanto directos como indirectos (valor de opción). Dentro del valor por no uso se puede mencionar el valor de existencia que son derivados del conocimiento que el recurso existe.

De hecho, en la evaluación socioeconómica de la norma de la cuenca del río Maipú, se menciona la dificultad que existe para realizar la medición de

beneficios distintos a los de uso directo, los cuales, además, que no fueron incorporados en la evaluación<sup>63</sup>.

El análisis determinó que no existían beneficios directos asociados a la norma. No obstante, se afirma que se desconoce la existencia y magnitud económica de otra fuente de beneficios distintos al uso directo.

La recomendación final que arroja este estudio, tiene que ver con aumentar los límites de concentración de algunos parámetros, ya que disminuirlos y monitorearlos sólo traen costos para el país.

Un examen crítico al estudio en cuestión refleja la escasa información con que se cuenta para poder realizar un análisis costo-beneficio que juzgue la conveniencia económica de implementar normas secundarias de calidad de aguas. En efecto, las particularidades de cada cuenca, los posibles valores de uso y no usos que puedan existir, hace que la utilización de indicadores medios no sea representativa<sup>64</sup>.

La recomendación más que natural implica estudiar en detalle los beneficiarios y sus beneficios caso a caso, o en su defecto, plantear una metodología general simplificada para su medición, que sea aplicada en cada evaluación de normas secundarias. Esta última opción aparece como de mayor conveniencia y atractivo, ya que se estaría entregando una herramienta única de valoración.

Finalmente, el programa de mejoramiento de la red de calidad que en este estudio se propone, es indicativo de las próximas inversiones y representa una recomendación sobre las necesidades a cubrir para tener una red de medición de calidad mínima, pero en ningún caso la económicamente óptima. Como se ha explicado, responden a dar cumplimiento a recomendaciones hechas en análisis previos y de revisar ciertos parámetros internacionales.

---

<sup>63</sup> El análisis costo-beneficio realizado a la norma secundaria de la cuenca del Maipo debe corresponder a la recomendación económica final de dicha norma. Por lo que es necesario realizar un estudio particular, que sea capaz de recopilar recoger la disposición a pagar por contar con cuerpos de aguas superficiales de cierta calidad, con los recursos suficientes para dicho fin.

<sup>64</sup> MIDEPLAN dispone de datos de información relacionada con la disposición a pagar por el saneamiento de aguas costeras y de ríos, con la cual se podría construir un Proxy sobre la disposición a pagar por conocer la calidad de las aguas superficiales. Sin embargo, no se dispone de datos que reflejen la demanda por conocer el dato.

#### *IV.1.5. Evaluación de la Red Actual.*

Según lo contemplado en la metodología para evaluar económicamente la RHN en su estado actual, se ha considerado la comparación entre la situación de continuidad de dicha red y aquel escenario que contempla su “abandono” en el sentido de no operarla y discontinuar las mediciones.

Lo que interesa comparar entonces es el ahorro en los costos de mantener la red en condiciones de operación actual, y las pérdidas en el valor de los datos que se produce por efectos de contar con estadísticas cada vez menos confiables. En la medida que las pérdidas de valor sean mayores que los costos de operar la red, la racionalidad económica recomienda seguir con su operación, toda vez que las pérdidas se convierten en beneficios al ser éstos evitados cuando la red sigue midiendo. En caso contrario habría que revisar su operación y estudiar en detalle la conveniencia de que esta siga funcionando.

Según lo calculado en el Anexo N°8, que presenta el detalle en el cálculo de beneficios de los programas aquí evaluados, las pérdidas por contar con información cada vez de menor valor ascienden a MM\$ 25.253<sup>65</sup>.

Los costos de operación y mantenimiento actuales de la red contemplan un monto de MM\$1.584,2. Adicionalmente, se ha considerado incluir el valor de la inversión actual, expresada una anualidad equivalente a 10 años a una tasa del 8%. Esto, para reconocer el reemplazo que debería hacerse a la red, considerando como supuesto aceptable que la mayor parte de ella corresponde a equipos. Estos suman MM\$1.665,7 adicionales lo que da un total de MM\$3.249,9<sup>66</sup>.

Al comparar los costos anualizados de mantener la red operando con las cifras estimadas como pérdida por decaimiento de la calidad de la información, se aprecia una amplia diferencia favorable a estas últimas. Esto quiere decir que la red esta cumpliendo su objetivo en el sentido de entregar datos básicos para el desarrollo de las actividades de infraestructura del país.

Aún si se considera que los datos que puedan haberse estimado como costos provienen del presupuesto, y que por tal motivo pudieran considerarse subvalorados, se ve poco probable que los costos superen el ahorro de pérdidas.

---

<sup>65</sup> Sólo se han incluido las pérdidas asociadas al sector infraestructura. Para detalle ver Anexo N°8.

<sup>66</sup> En este análisis sólo se han incluido los costos de la red fluviométrica y red hidrometeorológica, y no considera correcciones a precios sociales.

En efecto, la relación costo red v/s ahorro de pérdidas es casi de 1 a 8, por lo que la red actual está más que justificada.

No obstante, esta situación está reflejando un escenario en donde no existen alternativas de medición, algo que es poco probable que ocurra. Es de esperar que en el caso que la red deje de funcionar, los propios agentes de los distintos sectores tendrán la necesidad de generar sus propias estadísticas, lo que puede resultar de la implementación de estaciones de medición, o de la utilización de modelos que puedan recrear la información para diseño o al menos reducir los errores en sus estimaciones.

Para reflejar lo antes expuesto, se ha supuesto que ninguno de los actores deja que los errores aumenten más allá de un 25%, por lo que las pérdidas se valoran en MM\$9.590<sup>67</sup>. Esto corresponde a casi 3 veces los costos anualizados de la red, por lo que aún ésta se justifica.

---

<sup>67</sup> Este ejercicio considera que a partir del error 25% los agentes comienzan a realizar actividades de medición. El beneficio neto de estas actividades se ha supuesto nulo, lo que equivale a truncar las pérdidas en el nivel 25%. Para detalles ver el Anexo N°8.

## V. ASPECTOS INSTITUCIONALES Y FINANCIAMIENTO.

### V.1. Características económicas.

La Red Hidrométrica Nacional puede ser vista como una generadora exclusiva de datos estadísticos, tales como caudales, precipitaciones, temperaturas, etc., que sirven de materia prima para generar otros servicios de información de múltiples usos. Estos datos, o servicios de información, presentan ciertas características de bien público, en particular en la no rivalidad en su consumo, es decir, la utilización del dato por parte de un usuario no la sustrae del uso que otro pueda darle al mismo. Esto significa que una vez producido el dato, el costo marginal para proveer a otro usuario del mismo dato es casi nulo.

Adicionalmente, un bien público se caracteriza por cumplir con el principio de no exclusión, es decir, no se puede restringir de su uso a los agentes que no pagan por el servicio. En forma equivalente, el costo que se debe incurrir para poder excluir a quien no puede pagar por el dato es excesivamente alto. En rigor, algún dato o información que pueda ser generada por la RHN podría ser sujeto de tarificación, con lo cual el principio de no exclusión no se cumpliría.

Propiedades de no rivalidad en el consumo y bajos costos de exclusión son características de los denominados bienes mixtos, que permite distinguir a algunos usuarios para ciertos productos y estimar algún beneficio marginal para ellos. Esto posibilita que proveedores de bienes mixtos puedan discriminar por precio frente a distintos consumidores de información y recuperar costos de producción<sup>68</sup>.

Por otro lado, resulta razonable afirmar que existen algunas economías de escala y de alcance en la provisión de información que genera la RHN, que podrían considerarse como condiciones para la existencia de un monopolio natural. Estos aspectos han sido tratados ampliamente para la provisión de servicios meteorológicos, encontrándose que para este tipo de servicios tal característica sí existe<sup>69</sup>.

---

<sup>68</sup> La discusión que sigue está basada en Don Gunasekera, "Economic issues relating to meteorological services provision", BMRC Research Report N°102 August 2004.

<sup>69</sup> Las economías de alcance o ámbito han sido reconocidas en los programas de mejoramiento de la RHN.

Los servicios de información meteorológica, como también las hidrométricas, o las de calidad de aguas, se pueden clasificar en tres categorías:

- i. **Sistema básico**: El sistema básico lo conforma la infraestructura básica datos y productos, de los cuales dependen los servicios de información.
- ii. **Servicios básicos**: Son aquellos que se encuentran a libre disposición de los usuarios generalmente a través de los medios de comunicación. Ejemplo de este tipo de servicios son los pronósticos del tiempo y servicios de alerta climática.
- iii. **Servicios especiales**: Corresponden a los servicios de mayor valor agregado, que sirven para satisfacer necesidades específicas de usuarios particulares. El grado de rivalidad y exclusión determinan como deberían ser financiados, provistos y cobrados este tipo de servicios.

Entonces, suponiendo que se cumple solamente la característica de no rivalidad en el consumo, y que existen economías de alcance y escala, es posible confeccionar una matriz que permita realizar alguna clasificación de los tipos de servicios.

El cuadro siguiente muestra que, bajo ciertas condiciones, el sector privado aparece como un actor con cierto grado de interés en la provisión de servicios, lo que ocurre cuando los costos de exclusión son bajos. Es decir, cuando es posible asignar alguna tarifa para ciertos servicios, sobretodo para aquellos de mayor valor agregado.

**Cuadro N°39. Matriz de Clasificación Servicios Hidrométricos**

		Grandes Economías de Escala		Pequeñas Economías de Escala	
		Rivalidad en el Consumo	No Rivalidad en el Consumo	Rivalidad en el Consumo	No Rivalidad en el Consumo
<b>Grandes Economías de Alcance</b>	<b>Altos Costos de Exclusión</b>	NO APLICA	Servicios públicos básicos.  Pronósticos del tiempo, alertas ambientales, información climatológica, etc.	NO APLICA	Puede que se de sólo en algunos casos.
	<b>Bajos Costos de Exclusión</b>	NO APLICA	Servicios de suscripción por Internet, por Fax, etc.  Potenciales servicios de valor agregado provistos por el sector privado.	NO APLICA	Potenciales servicios de valor agregado provistos por el sector privado.
<b>Pequeñas Economías de Alcance</b>	<b>Altos Costos de Exclusión</b>	NO APLICA		NO APLICA	
	<b>Bajos Costos de Exclusión</b>	Existencia probable del sector privado.	Servicios específicos para servicios de emergencias.	NO APLICA	Potenciales servicios de valor agregado provistos por el sector privado.

Fuente: Adaptación de Gunasekera (2004), "Economic issues relating to meteorological services provision", BMRC Research Report N°102".

Otro aspecto a considerar es si el proveedor de los servicios de información hidrométrica o meteorológica debe ser el sector público o el sector privado. Según Gunasekera (2004) existen al menos 5 aspectos relevantes a los cuales hay que poner atención antes de decidir la opción de cómo proveer de información meteorológica a los usuarios.

- Distinguir los tipos de servicios requeridos y sus características de bienes públicos, mixtos o privados.

- Para aquellos servicios con características simultáneas de bienes públicos y monopolio natural, resulta lógico que sea el Estado quien los produzca o compre, previas consideraciones sociales y económicas.
- Al parecer algunos servicios de información, con características de bienes privados o mixtos, presentan propiedades de monopolio natural, por lo que se debería considerar la provisión por parte de un monopolio estatal o privado, en ambos casos bien regulados.
- La información siempre tiene la propiedad de **no exclusión**, por lo tanto, para poder hacer una discriminación por precio, hay que analizar la factibilidad y costo de poder excluir a quienes no pueden pagar, y para algunos compradores conocer su disponibilidad al pago.
- Es preferible que los servicios con características de bienes mixtos NO sea provista por un privado, a menos que existan bajos costos de exclusión.

El análisis de cada uno de estos aspectos generan algunas opciones de cómo pueden proveerse los servicios de información que genera la RHN, los cuales sirven de base para el análisis que se realiza en la siguiente sección.

## **V.2. Externalización de los servicios asociados a la RHN.**

### *V.2.1. Aspectos económicos.*

La posibilidad de externalización de los servicios asociados a la RHN, puede ser analizada según los servicios que actualmente genera la RHN.

La infraestructura básica, incluyendo sus datos, presentarían características de monopolio natural, por lo que un solo proveedor debiera ser quien los produzca. Este puede ser el Estado, como lo es en la actualidad (por medio de la DGA), o un proveedor privado en la medida que se pueda asegurar que este tendrá una recuperación adecuada de los costos. Naturalmente, y como todo monopolio, éste debe regularse de forma tal de evitar pérdidas económicas sociales no deseadas. Esta regulación debe hacerse considerando tanto el funcionamiento como el nivel de tarifas.

Por su parte, los datos (información) tienen características de bienes mixtos o semi-públicos, cumpliéndose la propiedad de no-rivalidad, pero no siempre la de no-exclusión, por lo que es posible hacer una discriminación por precio en algunos casos.

Suponiendo que es un proveedor privado quien se hace cargo de la infraestructura y generación de datos básicos (estadísticas), debe tenerse en cuenta que:

- El Estado debe asegurar que se dispongan de los datos que sirven de insumo para servicios de información de interés público, por ejemplo, para generar pronósticos de crecidas en cuencas. Esto se traduce en garantizar que se realicen las inversiones necesarias y suficientes para cumplir con este tipo de servicios.
- Si es el Estado el que genera los servicios de interés público (bien público), sería éste quien compraría los datos básicos necesarios para su producción.
- El resto de los servicios factibles de realizar una discriminación de usuarios por precio, como podrían ser los pronósticos de disponibilidad de agua para agricultores, deberían ser provisto por entidades privadas quienes comprarían los datos básicos para su producción al proveedor privado.
- Todos los usuarios que necesiten datos, incluyendo el Estado, serían clientes de esta entidad privada.
- El proveedor privado de datos básicos, que operaría la RHN, debe ser adecuadamente regulado para evitar que se ejerzan los indeseables poderes monopólicos, con la eventual subproducción de datos a un costo mucho mayor del socialmente deseado.
- Podrían surgir otros negocios, como por ejemplo, la instalación de estaciones agrometeorológicas en lugares específicos y para fines comerciales, en los cuales la negociación entre las partes determinaría el precio por el servicio.

En una segunda categoría se encuentran los servicios básicos, como pueden ser los pronósticos de crecidas, de tormentas, etc. En general, estos servicios son de interés público (bien público), por lo que sería adecuado que tal como se hace hoy en la actualidad el Estado sea quien siga a cargo de ellos. Por estos servicios no se cobra, se garantiza que existe sólo una voz oficial al respecto, y se asegura el acceso al público en general. En caso que la infraestructura y datos básicos sean provistos por un privado, el Estado compra estos datos, tal y como fuera analizado anteriormente.

Los servicios de mayor valor agregado, como aquellos destinados a usuarios específicos y con fines específicos, hacen posible la existencia de un mercado privado. En primer lugar, al ser productos “a la medida”, estos servicios sólo tienen valor para quién lo solicita, siendo completamente inservible para ser utilizado por otro agente. Este fenómeno puede ser visto de forma equivalente a la característica de rivalidad en el consumo que presentan los bienes privados. Por otro lado, siempre es posible excluir a quién no pueda pagar por este tipo de servicios de uso tan específico. Por lo tanto, el mercado debiera hacerse cargo de éstos. Al existir tal mercado, la producción de estos servicios necesitaría datos básicos por lo cuales, al igual que en los casos anteriores, se pagaría.

Dado lo anterior es interesante analizar bajo que condiciones puede tenerse un proveedor privado de datos básicos que se haga cargo de la infraestructura. Para esto existen variadas fórmulas, desde contratos de externalización hasta la concesión del servicio<sup>70</sup>.

De acuerdo a lo hasta aquí revisado, parece razonable que la infraestructura de redes orientadas a la caracterización de los caudales y sus datos sea provista por un proveedor privado. En parte por que se han identificado algunos beneficiarios específicos que tendrían alguna disposición a pagar por los datos que se generan, como sería el caso de las Organizaciones de Usuarios (regantes) y del CDEC-SIC. No obstante, debe realizarse un estudio sobre la conveniencia de esta alternativa, de forma tal que se asegure que el beneficio social asociado a una nueva institucionalidad sea positivo para el país.

Como experiencia internacional al respecto puede citarse el caso de EVARSA S.A., entidad privada que provee de información hidrométrica al Estado Argentino, cuya fórmula resultó de privatizar el servicio estatal, vendiendo acciones a los mismos funcionarios, previo plan para su desvinculación del aparato estatal. No obstante ser una solución para la participación de los privados en la provisión de este tipo de servicios, la experiencia argentina no ha estado ausente de algunos inconvenientes. Uno de estos problemas ha sido la licitación para la provisión de datos hidrométricos, a la cual llamaría el Estado Argentino cada dos años y que a la fecha aún no se ha materializado. En la práctica, este proveedor privado opera bajo ciertas condiciones plasmadas en un contrato de prestación de servicios.

---

<sup>70</sup> Detalles de opciones institucionales para provisión de infraestructura se encuentran en Kessides, Christine, “Institutional Options for the Provision of Infrastructure”, World Bank Discussion Papers N°212, 1993.

### V.2.2. Aspectos legales.

El Anexo N°9 de este documento presenta un análisis legal con relación a la factibilidad de externalizar la RHN.<sup>71</sup>

Las principales conclusiones de este análisis dicen relación con la existencia de argumentos que pueden entregar señales en el sentido de externalizar o de no hacerlo.

En efecto, pareciera que no resultarían delegables en terceros ni la mantención ni la operación del Servicio Hidrométrico Nacional, en lo referido al dato propiamente tal, como tampoco aquellas labores propias destinadas a proporcionar y publicar la información correspondiente que se obtenga de ellos, en la medida que se entienda que corresponde a un servicio de fiscalización. Bajo esta premisa se reconoce que la DGA tendría un rol de “ministro de fe” frente a posibles acciones legales que requieran conocer de la información que recoge la RHN.

Por otro lado, según lo menciona el Código de Aguas, la DGA está facultada para “encomendar a empresas u organismos especializados...la construcción, implementación y operación de las obras de medición e investigación que se requiera”. Por lo tanto, el potencial traspaso de la RHN a una empresa privada está contemplado por la actual legislación.

Un análisis en derecho más acabado debiera resolver sobre la factibilidad legal de poder externalizar la Red Hidrométrica Nacional o no.

### V.3. Relación de la DGA con otras redes.

La RHN, ya sea en forma directa o indirecta, tiene relación con la Dirección Meteorológica de Chile, la Armada de Chile y ENDESA, en la medida que todas estas instituciones poseen infraestructura para realizar mediciones hidrométricas y meteorológicas con fines distintos y/o complementarios a los de la DGA. En esta sección que se muestra brevemente cual es la relación que existe entre estos actores, de forma tal de identificar algún elemento a considerar en una eventual incorporación de privados en la gestión de la infraestructura y generación de datos básicos de la RHN.

---

<sup>71</sup> También se incluye en este anexo las tareas que por ley están determinadas a hacer uso de la información que genera la RHN.

La Armada de Chile, por medio de su Servicio Hidrográfico y Oceanográfico (SHOA), también realiza cierto tipo de mediciones como los de la RHN, teniendo entre sus objetivos producir, mantener y facilitar el acceso a una base de datos hidro-carto-oceanográfica de aguas nacionales, para fines de navegación marítima, fluvial o lacustre. Desde este punto de vista, no es posible considerar que exista una duplicidad de funciones entre ambas redes por lo que un eventual traspaso de la gestión de la infraestructura de la RHN a un privado no se vería interferido.

La Dirección Meteorológica de Chile (DMC) tiene como objetivos, entre otros, suministrar información y previsión meteorológica destinada a dar servicio a la aeronáutica y a las actividades productivas y de planificación nacional. Adicionalmente debe administrar el Banco Nacional de Datos Meteorológicos. La mayor parte de la infraestructura de la DMC está localizada en aeropuertos, por lo que se deduce una complementariedad directa con la red que Hidrometeorológica que administra la DGA. Entendido de esta forma por ambas instituciones, el 15 de agosto de 2005 firman un Convenio de Colaboración por una duración de dos años<sup>72</sup>, en el cual se obligan mutuamente, entre otras cosas, a intercambiar información meteorológica básica. En una potencial incorporación de privados en la provisión y gestión de la infraestructura de la RHN, habría que tener especial cuidado en definir cuales datos provienen de la infraestructura del DMC, ya que estos no serían parte del activo que eventualmente se traspase. Por otro lado, la DMC tendría una tendencia natural a priorizar el servicio aeronáutico por sobre las demás actividades de esta área, esto es la meteorología no aeronáutica y la climatología aplicada<sup>73</sup>, lo que sería indicativo de una subutilización de la infraestructura. Por lo tanto, compatibilizar las funciones de generación del dato propiamente tal, bajo la óptica de unificar las redes de la DMC y la DGA, y la generación de servicios tan críticos como lo es el pronóstico meteorológico para fines aeronáuticos debe ser materia de análisis. La solución a priori no es para nada trivial, tanto así que uno de los principales argumentos para que la red sea operada por el Estado es justamente preservar que estos servicios tan críticos no puedan quedar en manos de terceros.

ENDESA por su parte, entregó su infraestructura de medición de caudales (estaciones fluviométricas) a la DGA en comodato, para que esta última las opere y mantenga a cambio de que entregue a ENDESA los datos que esta requiera sin

---

<sup>72</sup> La contabilización del plazo de dos años comienza a partir de la resolución, emitida por la DGA o por la DMC, que formalice el Convenio de Colaboración.

<sup>73</sup> Conclusiones que se extraen del "Informe Final Evaluación Comprehensiva del Gasto - Dirección General de Aeronáutica Civil - Ministerio de Defensa", Febrero 2004, elaborado por la Dirección de Presupuestos del Ministerio de Hacienda.

que exista cobro alguno de por medio. Este convenio firmado el 17 de mayo de 2002, tiene una duración de 99 años, el cual puede tener fin anticipado en cuyo caso las instalaciones deberán ser devueltas a ENDESA. Estas estaciones de medición son absolutamente complementarias a la RHN y en ningún caso pudieran considerarse redundantes. Es más, una eventual incorporación de privados en la provisión y gestión de la infraestructura de la RHN, traería consigo conflicto de intereses, por cuanto en la práctica parte de la Red Fluviométrica es propiedad de ENDESA. En este caso hay que considerar posibles oposiciones que la “empresa eléctrica” pueda manifestar al ver que sus instalaciones pueden ser utilizadas con fines comerciales por un tercero. El acceso de ENDESA a los datos está asegurado por el convenio, independiente de si la gestión de la infraestructura pasa a manos privadas. No obstante, si su Red está rentando, es natural que quisiera tener participación del negocio. Este es un tema que hay que analizar con cuidado en caso de decidir la incorporación de un proveedor privado.

## VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES.

En este capítulo se resumen las principales conclusiones de este estudio y algunas recomendaciones de carácter general que surgen de él, con relación a los posibles mejoramientos que se puedan hacer a la Red Hidrométrica Nacional.

En primer lugar, la metodología de medición de beneficios propuesta en este estudio, tanto en su concepción como aplicación, no estuvo carente de dificultades. El marco teórico planteado sugiere la utilización de modelos Bayesianos complejos, utilizados para medir sistemas de pronósticos. No obstante, la RHN y sus productos básicos, estadística y datos en tiempo real, no es un sistema de pronósticos en sí, sino que es la generadora de estadística hidrometeorológica para su confección, para la realización de estudios con fines diversos, y en general para cualquier actividad que requiera de sus datos. Bajo este prisma, la metodología para medir los beneficios asociados a la RHN busca capturar como una mejora en la calidad de los datos estadísticos incide directamente en favor de quienes los ocupan. Estas mejoras de calidad se entienden como un mayor número de estaciones de medición, registro digital de datos y/o transmisión satelital de ellos. En todos los casos interesa conocer como la cantidad y calidad de la información que recoge el sistema afecta directamente las decisiones de los agentes que la utilizan, y los costos y beneficios asociados a tales decisiones. Al respecto, resultó natural distinguir decisiones asociadas a inversión, gestión y las destinadas a la mitigación de pérdidas, generando para cada una de ellas una metodología en particular que estuviera acorde al alcance, tiempos y nivel de complejidad de este estudio. Básicamente se tomó en cuenta la función generadora de estadística de la RHN, y la naturaleza aleatoria de los parámetros que ésta mide, y como esta incertidumbre influye en las decisiones que toman los agentes. Muchas de estas decisiones requieren de la estimación de ciertas variables, o algunos parámetros que mide la red, los cuales tienen asociado un nivel de error. Si se cuenta con mayores datos y de mejor calidad se genera un impacto que se traduce en una reducción de estos errores de estimación. La metodología propuesta intenta medir esta disminución (o ganancia de precisión) en términos monetarios, la que en definitiva corresponde a los beneficios de contar con los datos de la RHN.

El diseño de los planes de mejoramiento de la Red Hidrométrica tomó como base el análisis de estudios existentes, la situación internacional de redes de medición, y la experiencia del propio consultor. En general el criterio utilizado se basó en completar las redes propuestas en estudios anteriores y cumplir con ciertos estándares internacionales. En lo general, se propuso básicamente realizar mejoras a la Red Fluviométrica y Red Hidrometeorológica y un plan de

mejoramiento de la red de Calidad de Aguas orientado al cumplimiento de las normas secundarias de calidad. Los planes que surgieron son:

RED	Programa	N° Est.	Inversión		O&M	
			MM\$ Oct 2006	MM US\$ Oct 2006	MM\$ Oct 2006	MM US\$ Oct 2006
Fluviométrica	Cambio de Estaciones de registro Analógico a Digital.	47	206,2	0,4	0,0	0,0
	Aumento de Densidad de Estaciones Fluviométricas.	147	2.850,0	5,4	431,3	0,8
	Cambio de Estaciones de Registro Digital a Transmisión Satelital.	164	794,4	1,5	0,0	0,0
	Aumento de Densidad de Estaciones Fluviométricas para Control Extracciones. /1	100	923,2	1,7	293,4	0,6
Hidrometeorológica	Aumento Densidad de Estaciones Pluviométricas.	127	254,0	0,5	88,9	0,2
	Cambio de Estaciones de Registro Digital a Transmisión Satelital. /2	170	330,5	0,6	0,0	0,0
	Aumento Densidad Estaciones Hidrometeorológicas con Medición de Temperatura.	56	840,0	1,6	39,2	0,1
Calidad de Aguas	Aumento de Puntos de Muestreo y de Número de Muestras al Año. /3	430	34,1	0,1	165,1	0,3
	Registro Continuo de Parámetros de Calidad.	108	1.241,5	2,3	293,1	0,6
	Biomonitoreo. /4	116	0,0	0,0	80,9	0,2
	Monitoreo de Lagos. /4	16	0,0	0,0	21,1	0,0
<b>TOTAL</b>		<b>1.481</b>	<b>7.473,9</b>	<b>14,1</b>	<b>1.413,0</b>	<b>2,7</b>
Notas: /1 Programa complementario /2 150 estaciones hidrometeorológicas (MM\$175,5) junto con 20 rutas de nieve (MM\$155,0). /3 Inversión en ampliación de laboratorio. /4 Programa que no contempla inversiones, solo se trata de análisis de muestras. /5 Cifras en dólares utilizando tipo de cambio promedio mes de Oct 2006 \$/US\$ 530,95.						

El costeo de las mejoras propuestas tiene sustento en el análisis realizado a las redes actuales y se basó en información presupuestaria de los años 2004 y 2005. Al tratarse de datos del presupuesto, las cifras que se recogieron no necesariamente reflejan costos de la red. Estos pudieran estar subestimados en la medida que el presupuesto sea menor a los requerimientos de la red.

El registro presupuestario no está orientado a una contabilidad de costos, por lo que hubo que hacer una serie de supuestos que permitieran realizar una prorrata razonable para poder separar la información de costos por red.

La identificación de los principales beneficiarios de la RHN tomó como base la realización de entrevistas, investigación en sitios Web, reportes de la OMM (N°717, 1990) y la “Encuesta a Otros Servicios e Instituciones” realizada por la DGA en el año 2005, seleccionando a aquellos que tuvieran una relevancia importante desde el punto de vista de la actividad económica. Los beneficiarios seleccionados corresponden a los siguientes.

<b>Beneficiario</b>	<b>Actividad</b>	<b>Beneficio</b>
CDEC-SIC	Programación Semanal de Abastecimiento de Energía.	Disminución del error en cálculo de CMg por disminución en el error en la estimación de los caudales generados.
Dirección de Obras Hidráulicas (DOH)	Diseño de Embalses.	Ahorros en inversión por disminución del error en la variable de diseño.
	Diseño de Defensas Fluviales.	Ahorros en inversión por disminución del error en la variable de diseño.
	Diseño de Obras de Riego	Ahorros en inversión por disminución del error en la variable de diseño.
	Diseño de Evacuación Aguas Lluvias.	Ahorros en inversión por disminución del error en la variable de diseño.
Dirección de Vialidad (DV)	Diseño de Evacuación de Aguas Lluvias en Caminos.	Ahorros en inversión por disminución del error en la variable de diseño.
Sector Privado: Generación de Energía Hidroeléctrica.	Construcción Centrales de Embalse.	Ahorros en inversión por disminución del error en la variable de diseño.
	Construcción Centrales de Pasada.	Ahorros en inversión por disminución del error en la variable de diseño.
Sociedades de Canalistas	Distribución de agua según derechos de los asociados.	Ahorros por disminución del error en la distribución del agua.
Dirección General de Aguas (DGA)	Asignación Derechos de Agua.	Ahorros por reducción del error en la estimación de los caudales disponibles para ser asignados.

Algunos de los planes de mejoramiento de la red presentan economías de ámbito, es decir, utilizan la misma infraestructura para realizar diferentes mediciones. La racionalidad económica indica que es más eficiente realizar en forma conjunta aquellos planes que presentan esta característica. Al respecto, se realizó una agrupación entregando como resultado los siguientes programas para su posterior evaluación.

- Cambio de registro analógico a digital en la Red Fluviométrica,
- Aumento de la densidad de estaciones en la Red Fluviométrica e Hidrometeorológica,

- Cambio a estaciones con plataforma satelital en la Red Fluviométrica e Hidrometeorológica,

Para cada uno de ellos se estimaron sus costos y beneficios. La construcción de flujos se realizó sobre la base de un horizonte de 30 años con una tasa de descuento de 8% (tasa social de descuento calculada por MIDEPLAN), encontrándose los siguientes indicadores de rentabilidad.

INDICADORES DE RENTABILIDAD	P1	P2	P3
VAN (MM\$)	338,9	9.568	7.693,0
TIR (%)	16,90%	15,60%	32,80%
B/C	2,16	2,03	2,41
Año Recua.	13	16	5,00
IVAN	0,6	2,44	2,90
Notas: P1: Cambio de registro analógico a digital en la Red Fluviométrica P2: Aumento de la densidad de estaciones en la Red Fluviométrica e Hidrometeorológica P3: Cambio a estaciones con plataforma satelital en la Red Fluviométrica e Hidrometeorológica			

Como se observa del cuadro anterior, todos los programas son altamente rentables, presentando valores en el VAN de los beneficios netos que se encuentran entre los MM\$338,9 y MM\$9.568. El valor de las TIR supera en todos los casos el 15%, observándose en todos los programas una relación beneficio-costos superior a 2.

En el caso de existencia de restricción presupuestaria, el indicador IVAN permite discriminar al respecto entregando una medida de priorización. Según los valores obtenidos para este indicador, el programa que debiera realizarse en primer lugar corresponde al cambio a estaciones con plataforma satelital de la red, para luego continuar con el aumento de la densidad, y finalizar con la conversión digital de estaciones.

En el caso que la restricción presupuestaria sea importante, podría dar origen a un cronograma de inversión teniendo en consideración el indicador IVAN. En caso que no existiera tal restricción, o que los recursos sean suficientes para realizar la inversión en su totalidad, no existen argumentos económicos que recomienden postergar o invertir en estos programas en forma modular (año por año).

Adicionalmente, se realizó un análisis de riesgo para medir el impacto en los indicadores de rentabilidad al someter los parámetros utilizados en la evaluación a supuestos de variabilidad. Se encontraron los siguientes resultados.

INDICADORES DE RENTABILIDAD	P1	P2	P3
VAN promedio (MM\$)	338,2	10.755	7.737
VAN mediano (MM\$)	338,3	10.709	7.737
Desv. Std. VAN (MM\$)	39,9	1.285	605
VAN mínimo (MM\$)	228,6	7.380	6.085
VAN máximo (MM\$)	462,5	14.607	9.406
Coef. Var. VAN (%)	11,8%	11,9%	7,8%
TIR promedio (%)	16,8%	16,2%	33,0%
TIR mediana	16,8%	16,1%	33,0%
TIR Mínima (%)	14,0%	13,8%	26,9%
Prob. VAN > 0	99,9%	99,9%	99,9%
Notas: P1: Cambio de registro analógico a digital en la Red Fluviométrica P2: Aumento de la densidad de estaciones en la Red Fluviométrica e Hidrometeorológica P3: Cambio a estaciones con plataforma satelital en la Red Fluviométrica e Hidrometeorológica			

Como se ve del cuadro, los valores de los indicadores de rentabilidad VAN y TIR presentan valores robustos, en el sentido que reafirman la decisión de implementar los programas de mejoramiento de la red. La probabilidad de obtener un VAN positivo es en todos los casos de un 99,9%.

Finalmente, se recomienda la implementación de los programas según el siguiente orden de preferencia:

- Programa cambio a estaciones con plataforma satelital.
- Programa aumento de densidad de estaciones.
- Programa cambio registro analógico a digital.

El análisis de la red de calidad de aguas, en cuanto a la evaluación económica de su programa de mejoramiento, indica que se requiere contar con mayor información. En efecto, este programa ha sido concebido tomando en consideración la implementación de las futuras Normas Secundarias de Calidad Ambiental de Aguas Superficiales Continentales, por lo cual la evaluación económica del mejoramiento de esta red pasa por la evaluación económica de la norma que se pretende dictar. De esta manera, los mejoramientos propuestos corresponden a parte de los costos de fiscalización y monitoreo. Un examen de los antecedentes disponibles indica la falta de información para realizar una buena

estimación de beneficios. Es así como el estudio “Análisis Económico y Social de la Norma de Calidad Secundaria para la Protección de las Aguas Continentales Superficiales en la Cuenca del Maipo” no ha podido entregar un valor de ellos. En parte, por la dificultad técnica de medir algunos beneficios, como a los recursos disponibles para su realización. Lo propio sucede en este caso, ya que el trabajo necesario para realizar estimaciones adecuadas escapa al alcance de este estudio. Luego, la recomendación natural corresponde a realizar las evaluaciones de éstas mejoras en el ámbito del estudio socioeconómico de las redes secundarias, o como alternativa, realizar una metodología general de medición de beneficios asociados a normas secundarias, como instrumento único y estandarizado de estimación.

La evaluación de la red actual consideró la comparación de los escenarios de continuidad de operación de la red, esto es seguir midiendo y manteniéndola, versus aquel en que la función de medir, operar y mantener es suspendida. Continuar con las mediciones evitaría el aumento en los errores en la estimación de variables de diseño en infraestructura, y en consecuencia impedir que ocurran pérdidas económicas. Luego, si éstas pérdidas son superiores a los costos de seguir operando la red, ésta se da por justificada. En efecto, los resultados apuntan a que la red se justifica plenamente. Los ahorros bajo los supuestos considerados en este estudio, arrojan pérdidas evitadas del orden de MM\$9.500 al año (medidas como anualidad equivalente), con costos anuales de la red de MM\$3.250.

Un aspecto interesante abordado en este estudio corresponde a la institucionalidad de la RHN, orientada a la posibilidad de externalizar la RHN y sus servicios de generación de estadísticas. Se analizaron aspectos económicos y legales. Desde el punto de vista económico se aprecia que la infraestructura básica y sus datos pudiesen presentar características de monopolio natural, por lo cual sería deseable que este servicio sea provisto por un solo agente, por supuesto que adecuadamente regulado, tanto en su funcionamiento como en el nivel de tarifas. Por otro lado, el análisis legal indica que existen algunos argumentos como para no realizar una externalización de la operación y mantenimiento de la RHN. Sin embargo, del mismo análisis, se desprende que sí hay espacio para la incorporación de un privado, por cuanto el propio Código de Aguas considera que la DGA tiene la facultad para “encomendar a empresas u organismos especializados...la construcción, implementación y operación de las obras de medición e investigación que se requiera”.

Por supuesto, la pertinencia de incorporar a un proveedor privado, ya sea a través de un convenio o una concesión, tiene que ser materia de un estudio profundo y acabado.



## **ANEXOS**



## **ANEXO N°1. ANÁLISIS DE LAS REDES ACTUALES.**



## **ANEXO N°2. PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DE REDES.**



**ANEXO N°3. ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN DE LOS PARÁMETROS  
HIDROLÓGICOS DE DISEÑO CON LOS PROGRAMAS DE MEJORAMIENTO.**



## **ANEXO N°4. ANÁLISIS DE CUENCAS SELECCIONADAS.**



**ANEXO N°5. INSTITUCIONALIDAD: REVISIÓN EXPERIENCIA  
INTERNACIONAL.**



## **ANEXO N°6. ANÁLISIS DE COSTOS V/S VARIABLES HIDROMÉTRICAS.**



**ANEXO N°7. CARACTERIZACIÓN DGA Y PROCESO DE ASIGNACIÓN DE  
DERECHOS DE AGUA.**



**ANEXO N°8. ESTIMACIÓN DE BENEFICIOS SEGÚN PROGRAMA DE MEJORAMIENTO.**



## **ANEXO N°9. ANÁLISIS LEGAL.**

