Ministerio de Desarrollo Social

Gobierno de Chile

METODOLOGÍAPARA LA FORMULACIÓN Y EVALUACIÓN SOCIOECONÓMICA DE EMBALSES Y OBRAS HIDRÁULICAS ANEXAS CON FINES MÚLTIPLES

División de Evaluación Social de Inversiones

2013

INDICE

1 – METODOLOGÍA GENERAL DE FORMULACIÓN Y EVALUACIÓN SOCIOECONÓMICA DE PROYECTOS DE EMBALSES Y OBRAS HIDRÁULICAS ANEXAS	3
Valoración económica de los recursos hídricos	3
Flujo de formulación y evaluación de proyectos	6
Diagnóstico y problema	7
Situación Sin Proyecto	11
Situación Con Proyecto	15
Análisis de rentabilidad	20
Análisis comparado de alternativas	25
Análisis de riesgo	28
Evaluación ex post del proyecto	35
Consideraciones finales	36
Apéndice A – Guía general de procedimientos para la aplicación de análisis de riesgo	37
Apéndice B – Efectos indirectos, secundarios y externalidades	42
Apéndice C – Propuesta de levantamiento de línea de base	46
2 – METODOLOGÍA PARA LA ESTIMACIÓN DE BENEFICIOS POR RIEGO	50
Formulación de proyectos de riego	50
Estimación de beneficios asociados a proyectos de riego	59
Consideraciones adicionales para la formulación de proyectos de riego	66
Apéndice D – Guía general de procedimientos para la formulación de proyectos de riego	67
Apéndice E – Estudios complementarios en proyectos de riego	72
Apéndice F – Estimación de beneficios por el Método del Valor del Producto Marginal	82
Apéndice G – Estimación de beneficios por el Método del Valor Incremental de la Tierra	88
3 – METODOLOGÍA DE ESTIMACIÓN DE BENEFICIOS POR GENERACIÓN HIDROELÉCTRICA	95
Diseño del proyecto	95
Beneficios netos del proyecto de generación hidroeléctrica	98
Apéndice H – Guía general de procedimientos para la formulación de proyectos de hidrogeneración que afectan la oferta de energía del Sistema Interconectado Nacional	103
4 – METODOLOGÍA DE ESTIMACIÓN DE BENEFICIOS POR AUMENTO DE LA OFERTA DE AGUA POTABLE	110
Beneficios netos del proyecto de provisión de agua potable	110

5 – METODOLOGÍA DE ESTIMACIÓN DE BENEFICIOS POR AUMENTO DE LA OFERTA DE AGUA PARA MINERÍA	115
Diseño del proyecto	115
Beneficios netos del proyecto de provisión de agua para la minería	117
Apéndice I – Guía general para la estimación de los requerimientos de agua en la minería	120
6 – METODOLOGÍA DE ESTIMACIÓN DE BENEFICIOS POR DEFENSA FLUVIAL Y CONTROL DE CRECIDAS	124
Diseño del proyecto	124
Beneficios netos de los proyectos de defensa fluvial y control de crecidas	125
Costos de los proyectos de defensa fluvial y control de crecidas	139
Apéndice J – Guía general para la estimación de los requerimientos de servicios de defensa fluvial y control de crecidas	140
Apéndice K – Guía general para la aplicación del Método de Valoración Contingente en proyectos de embalse y obras hidráulicas anexas	144
7 – METODOLOGÍA DE ESTIMACIÓN DE BENEFICIOS POR TURISMO Y DESARROLLO INMOBILIARIO	150
Beneficios por turismo	150
Beneficios por desarrollo inmobiliario	152
8 - METODOS ALTERNATIVOS PARA LA ESTIMACIÓN DE DE BENEFICIOS DE PROYECTOS DE EMBALSE Y OBRAS HIDRÁULICAS ANEXAS: DESALACIÓN y TRASVASIJES DE RECURSOS	153
Desalación de agua de mar	154
Trasvasije de recursos hídricos entre cuencas	158
Consideraciones finales	159
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	161

Nota: Documento elaborado por los profesionales Andrea Mellado, del Instituto Nacional de Desarrollo Agropecuario y Fernando Britos, del Departamento Metodologías de la División Planificación, Estudios e Inversiones de MIDEPLAN. Se agradecen los comentarios de los profesionales Ximena Vallejos, Marcia Vallejo. Silvia Montevilla y Juan Carlos Latorre, de la División Planificación, Estudios e Inversiones de MIDEPLAN, Claudio Román Beltramin, Francisco Durán y Carlos Peralta Rossel de SERPLAC de MIDEPLAN. Felipe Martin, Cristian Rodríguez y Rafael Vilches, de la Comisión Nacional de Riego de MINAGRI, Pamela Arellano del Ministerio de Economía, Bernardo Cifuentes de la Dirección de Obras Hidráulicas y Erik Haindl de la Dirección General de Obras Públicas, ambas del MOP.

1 – METODOLOGÍA GENERAL DE FORMULACIÓN Y EVALUACIÓN SOCIOECONÓMICA DE PROYECTOS DE EMBALSES Y OBRAS HIDRÁULICAS ANEXAS

Los embalses y obras hidráulicas anexas son proyectos que permiten la utilización de un recurso natural, el agua, a partir de su acumulación y asignación entre diferentes procesos de producción que compiten por su uso: agricultura, minería, agua potable, generación hidroeléctrica, turismo y otros. Por otra parte, el agua cruda puede estar asociada a recursos superficiales o subterráneos y tener usos consuntivos o no consuntivos1, dependiendo de la política de manejo de los recursos.

El objetivo de la metodología es guiar la formulación y evaluación socio-económica de proyectos de embalse y obras hidráulicas anexas con fines múltiples. Habitualmente, el uso principal de este tipo de infraestructura es el riego; sin embargo, actualmente las obras potencialmente permitirán reducir la brecha existente entre oferta y demanda de agua para diferentes usos. Atento a ello, los contenidos se han desarrollado sobre la base de los lineamientos de aumentar la eficiencia en el aprovechamiento del agua y sobre el marco teórico y conceptual de diversos métodos para la evaluación socioeconómica de los diferentes usos del agua embalsada.

Dentro de las obras de infraestructura se distinguen los siguientes tipos: i) ***Obras para captación de agua***: aquellas que permiten extraer los recursos desde su nacimiento y para su uso en riego, agua potable, industria y otros. Incluye la inversión en pozos para captar las aguas subterráneas, reparación o reemplazo de represas, construcción de muros de contención y otras; ii) ***Obras de derivación de agua***: embalses de carácter permanente en las aguas de los ríos o tramos de canales. Además de los anteriores, entre sus usos potenciales se encuentran el turismo y la generación eléctrica; iii) ***Obras de conducción***: para la captura o desviación de las obras de regulación y conducción del agua hasta las obras de distribución (por ejemplo, sellado o reparación del canal principal); iv) ***Redes de distribución***: canales secundarios y terciarios que llevan el agua de un canal matriz hasta las áreas de demanda; su objetivo es distribuir adecuadamente el agua entre los sectores por medio de medidores y compuertas para cumplir con el calendario de producción (además de canales, incluye divisores, metros, puertas, cámaras y equipos de medida de caudales; v) ***Obras de regulación***: permiten la reserva de las aguas que fluyen durante los períodos cuando no esté en uso para utilizarlas cuando hay un déficit. Dentro de esta categoría se incluyen la regulación de los diques o presas nocturnas, por ejemplo. En algunos tipos de proyectos particulares, deben considerarse asimismo: i) ***Trabajos de aplicación:*** permiten optimizar el uso del agua al interior del predio, la asignación de las cantidades adecuadas por uso y los sistemas intraprediales más convenientes y ii) ***Obras de drenaje***: para facilitar el drenaje de los excesos de agua.

I. Valoración económica de los recursos hídricos

Los recursos hídricos, así como el resto de recursos con los que dispone una sociedad, son susceptibles de ser valorados económicamente. Sin embargo, tendrán valor en la medida en que proporcionen beneficios y además los usuarios estén dispuestos a

[1] ***Uso consuntivo*** refiere a aquel en el cual el agua cambia su naturaleza intrínseca, transformándose en otro producto; por ejemplo riego o minería, donde el agua se utiliza para la producción de otro bien. ***Uso no consuntivo*** refiere a aquel en el cual el agua mantiene sus características físicas naturales; por ejemplo, en la producción de energía eléctrica, donde el agua se utiliza devolviéndose al caudal en la misma forma y cantidad.

pagar por ellos; por tanto, obtener valoraciones precisas del agua en cada uso es tarea complicada. Sin embargo, ampliar la racionalidad en el uso del agua no puede lograrse sin disponer de valoraciones económicas de los usos y servicios relacionados con el agua.

Cuando los derechos de propiedad están claramente definidos, se dispone de mecanismos de asignación adecuados y los individuos cuentan con los incentivos necesarios para utilizar de la mejor manera los recursos, el mercado es eficiente en la asignación del recurso, ya que minimiza los costos sociales y garantiza los mayores beneficios para la comunidad. Sin embargo, en el caso del agua embalsada en general no se cumplen algunos de los requisitos expuestos, razón por la cual se han desarrollado métodos alternativos de valoración que incorporan conceptos subjetivos del valor.

En el mercado, los *precios* quedan determinados por la oferta y la demanda. La *demanda* es función del precio del bien, el ingreso de los demandantes, los precios de productos sustitutos y complementarios y las preferencias. La *oferta* es función del precio del producto, los costos y la tecnología de producción y los productos sustitutos, entre otros. Cuando la oferta iguala la demanda, el precio queda determinado.

En una economía con mercados perfectos, el mismo conjunto de precios es responsable por la asignación de recursos y por la distribución del ingreso: todos los ingresos son derivados de la propiedad de los factores de producción y el mecanismo de precios maximiza el valor de la producción que puede ser producido en un período de tiempo.

La *eficiencia asignativa* se define como un estado de organización de producción y consumo en la que las posibilidades no ambiguas de incremento de bienestar económico han sido exploradas, según el principio de Pareto[2] y la asignación óptima de los recursos ha sido establecida. También se puede definir como la asignación de los recursos tal que ninguna otra asignación provee ganancias de producción o satisfacción sin imponer pérdidas a otros miembros de la sociedad. Esta definición de eficiencia se satisface con el funcionamiento de una economía competitiva y se puede expresar en términos del cumplimiento de las siguientes condiciones:

* Eficiencia económica en la producción de bienes y servicios;

* Eficiencia económica en la distribución de los bienes y servicios y

* Asignación de los recursos en forma consistente con las preferencias del consumidor.

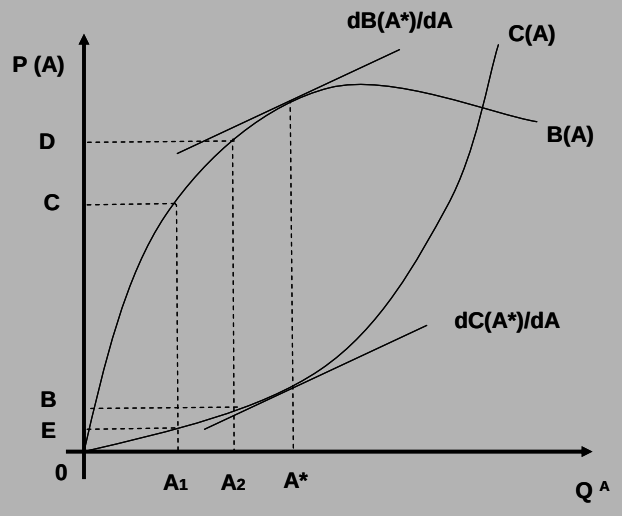
De este modo, la *eficiencia paretiana* ocurre cuando el beneficio marginal de usar un bien o servicio es igual al costo marginal de ofertar ese bien.

Desde el enfoque de la evaluación de proyectos, el análisis costo – beneficio es la herramienta que permite obtener el equilibrio paretiano, a partir de la comparación de beneficios y costos marginales (Figura N°A.1). Las curvas ***B(A)*** y ***C(A)*** miden el beneficio social y los costos agregados respectivamente. La solución al óptimo de Pareto se obtiene en ***A****, donde la diferencia entre ambas es máxima (en este punto, el beneficio marginal social es igual al costo marginal social).

[2] El *Principio de Pareto* (o eficiencia paretiana) establece que el óptimo social se alcanza en una situación de equilibrio de producción y consumo donde no es posible aumentar el bienestar de ningún individuo de la sociedad, sin disminuir el de otro.

Figura N° 1.A

Comparación de la eficiencia de Pareto con el criterio de Beneficio – Costo



Fuente: Elaboración propia en base a Smith (citado por Young, 1996)

El proceso de decisión requiere la identificación y la comparación de todos los beneficios y costos de cada una de las alternativas de uso del agua[3]. En el caso de Chile la experiencia de mercado no es unívoca en términos que el establecimiento de derechos de aprovechamiento de agua ha sido condición suficiente para la mejor asignación de los recursos hídricos.

Esto significa que no existirá sólo uno, sino varios equilibrios paretianos. No obstante, cuando es evidente que la política conducirá a una redistribución del ingreso, es posible modificar los niveles de bienestar por medio de *compensaciones:* si los ganadores con la nueva política están dispuestos a compensar a los perdedores y aún así tienen un nivel de bienestar superior, la política es positiva, ya que la sociedad en general habrá obtenido un nivel de bienestar superior.

En ausencia de mercados y bajo el supuesto que todos (o la mayoría de) los beneficios y costos son "medibles en dinero"[4] los cambios en el bienestar pueden ser medidos como el máximo monto de dinero que la persona estaría dispuesta a pagar para obtener esa mejora; o por otro lado, cuando el bienestar se reduce, debe estimarse cuánto estaría dispuesto a pagar ese individuo para aceptar el cambio. Este método permite estimar los precios sombra del agua cruda. De esta forma, el Estado tiene un papel fundamental en la obtención del óptimo paretiano: el bienestar social depende de la utilidad de sus miembros derivada del consumo y de los mecanismos descritos.

En lo que sigue del documento se presenta la metodología para formulación y evaluación de los proyectos de embalse y obras hidráulicas anexas y se desarrollan diferentes enfoques para la valoración de los beneficios por los usos potenciales del agua en diferentes actividades: riego, minería, agua potable, defensa fluvial y otras.

---

[3] Ello deriva en la existencia de externalidades para la sociedad, cuyos efectos pueden minimizarse cuando los derechos están definidos. De allí la importancia de disponer de adecuados sistemas de tarificación para el uso de los recursos naturales y en particular del agua cruda.

[4] Este supuesto implica aceptar un enfoque puramente extrínseco de los recursos, aceptando que la satisfacción de las personas que conforman la sociedad puede estimarse a través del dinero como medida de bienestar y utilidad.

II. Flujo de Formulación y Evaluación de Proyectos

El proceso de *formulación y evaluación de un embalse y sus obras hidráulicas anexas*, como un sistema integrado de cuencas, debe respetar la siguiente ***línea de procesos***.

- Diagnóstico y definición del problema
- Definición de la Situación Sin Proyecto
- Identificación de las alternativas de proyecto
- Definición de la Situación Con Proyecto
- Análisis de rentabilidad del proyecto
- Análisis comparado de alternativas
- Análisis de Riesgo
- Evaluación Ex Post

El ***ciclo de vida de los proyectos*** se define como la instancia ideal de análisis, que implica ir avanzando en éste a medida que se dispone de mayor información (o se disminuye la incertidumbre sobre el comportamiento futuro de las variables). El respeto de este proceso tiene por objetivo contribuir al uso más eficiente de los recursos y genera un mayor nivel de análisis, información y precisión a medida que madura la formulación del proyecto.

En las etapas tempranas del ciclo de vida, se estima la bondad de los proyectos de inversión con un uso acotado de recursos, lo cual permite "descartar los proyectos malos" sin incurrir en altos costos de análisis. Una vez evaluado a nivel de perfil, el proyecto pasa a prefactibilidad, donde se analizan las distintas alternativas para dar solución al problema planteado. Por ello, la evaluación socioeconómica tiene mayor nivel de análisis y precisión y permite disminuir considerablemente la incertidumbre y riesgo de la iniciativa. Posteriormente, se debe desarrollar la etapa de factibilidad, la que comprende los mismos capítulos que la prefactibilidad, pero con mayor profundidad y menor rango de variación esperado en los montos de costos y beneficios estimados. A ella sólo se somete la mejor alternativa determinada en la etapa anterior. La fase de preinversión se presenta en el Cuadro N°1.1.

Cuadro N°1.1

Ciclo de vida del proyecto – Fases

Fase	Etapa
Preinversión	Idea - Perfil - Prefactibilidad - Factibilidad
Inversión	Diseño - Ejecución
Operación	Puesta en marcha - Operación en régimen

Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, según el grado de complejidad de las soluciones propuestas en cada uno de los proyectos, la fase de preinversión puede acotar etapas, las que deberán ser debidamente justificadas. Un ejemplo de criterio modelo se presenta en el Cuadro N°1.2.

Cuadro N°1.2

Ciclo de vida del proyecto – Fase de preinversión

Postulación		**Observaciones**
De	**A**	
Perfil	Ejecución	Proyectos con diseños tipos pre aprobados.
Perfil	Diseño	Proyectos que deben desarrollar por separado la etapa de diseño.
Diseño	Ejecución	
Perfil	Prefactibilidad	Proyectos que deben desarrollar el ciclo de vida completo, dada su alta especificidad.
Prefactibilidad	Factibilidad	
Factibilidad	Diseño	
Diseño	Ejecución	

Fuente: Elaboración propia.

III. Diagnóstico y definición del problema

Un proyecto cualquiera tiene como propósito final satisfacer o atender una determinada demanda o dar solución a un problema que se ha detectado en una zona identificada. Por ello debe realizarse un riguroso reconocimiento de la zona de estudio, para constatar la realidad que se pretende intervenir. Este primer paso permitirá establecer los problemas en el área de influencia de la cuenca[5] bajo análisis, reconociendo la existencia y potencialidad de los recursos del área, caracterizando las diferentes actividades productivas e incorporando las perspectivas de desarrollo futuro, entre otros aspectos.

El ***diagnóstico*** debe reunir la mayor cantidad de información disponible en instituciones relacionadas acerca de los recursos agua, suelo y clima, así como aquellos datos de organismos relacionados a la producción, los ingresos, los precios y demás. La recopilación de antecedentes debe incluir también la revisión de

[5] Se entiende por cuenca hidrográfica, hoya hidrográfica, cuenca de drenaje o cuenca imbrífera al espacio delimitado por la unión de todas las cabeceras que forman el río principal o el territorio drenado por un único sistema de drenaje natural, es decir, que drena sus aguas al mar a través de un único río, o que vierte sus aguas a un único lago endorreico. Una cuenca hidrográfica es delimitada por la línea de las cumbres, también llamada divisoria de aguas. El uso de los recursos naturales se regula administrativamente separando el territorio por cuencas hidrográficas, y con miras al futuro las cuencas hidrográficas se perfilan como las unidades de división funcionales con más coherencia, permitiendo una verdadera integración social y territorial por medio del agua. Una cuenca hidrográfica y una cuenca hidrológica se diferencian en que la cuenca hidrográfica se refiere exclusivamente a las aguas superficiales, mientras que la cuenca hidrológica incluye las aguas subterráneas (acuíferos).

información bibliográfica y visitas a terreno para contactar fuentes primarias (informantes calificados e informados del problema abordado)[6].

Una vez recopilada la información, se debe analizar en forma crítica, con el propósito de calificar el uso que se le dará durante el desarrollo del estudio y determinar con precisión aquellos antecedentes que se requiere actualizar, complementar y generar. Esto último, se debe llevar a cabo cuando la calidad de la información recopilada no es adecuada para la finalidad que persigue el proyecto o simplemente ésta es inexistente.

Como consecuencia del análisis anterior debe levantarse la fundamentación del estudio y el problema del mismo. Ello constituye la base para justificar cualquier intervención (estudio o proyecto) orientada al aprovechamiento de los recursos hídricos.

Dentro del conjunto relevante de ***antecedentes del diagnóstico***, es esencial la descripción de los siguientes ámbitos

- Aspectos físicos de la zona de estudio
    - Ubicación geográfica
    - Delimitación de la cuenca
    - Clima
    - Hidrografía
    - Aspectos fisiográficos
    - Vegetación
    - Geología
- Análisis de la cuenca y de los recursos hídricos
    - Superficie; ubicación; límites.
    - Recursos hídricos superficiales; afluentes y efluentes.
    - Caudal medio anual de los recursos hídricos: estacionalidad (períodos de demanda, máximas precipitaciones, períodos secos, duración del año hidrológico, otras)
    - Identificación de subcuencas.
    - Regulación de los principales afluentes y de los recursos principales: volumen de la oferta para diferentes usos.
    - Agua subterránea: disponibilidad, ubicación y usos. Reducción de los caudales de explotación del acuífero. Recarga artificial del acuífero. Medidas para minimizar los efectos de subida de nivel (drenaje) o descenso (profundización de captaciones). Ejecución de obras para

[6] Como por ejemplo los agricultores de la zona de influencia y las asociaciones de regantes, si las hubiere.

corregir la dinámica del flujo subterráneo tales como barreras hidráulicas, pozos de inyección, etc.

- Usos actuales de los recursos, sistemas de conducción y distribución de aplicación de los recursos hídricos; niveles de eficiencia global en el proceso de captura, transporte y distribución; criterios de seguridad en el suministro del agua cruda; otros.
- Distribución de la tierra de acuerdo a la capacidad de uso; disponibilidad de suelos aptos para riego; sistemas de riego y provisión de alternativas (en el caso que las hubiere).
- Efectos del desarrollo los recursos sobre la erosión hídrica, control de crecidas, manejo y conservación de suelos. Protección de riberas, mejoras en el cauce, encauzamiento de las aguas, conducción, drenaje, ataguías (en general corrección del eje hidráulico).
- Potencialidad de usos alternativos: riego, hidrogeneración, usos mineros e industriales varios, requerimientos para agua de consumo humano rural y urbano, otros.
- Otros aspectos relevantes: mantención de la conexión de las poblaciones mediante métodos naturales o artificiales (corredores ecológicos, by pass, etc.) y construcción de atraviesos para animales y demás.

- Análisis de los aspectos socio-económicos
  - Ocupación porcentual de la población; principales centros productores y los principales centros administrativos correspondientes.
  - Desarrollo económico: análisis de la estructura económica, componentes y evolución del PIB nacional, regional y de la cuenca, zonas económicamente más activas, desarrollo y balance entre los diferentes sectores (industria, comercio, minería y servicios), sector público, infraestructura[7], proyecciones sectoriales de desarrollo.
  - Desarrollo agropecuario en la zona de estudio, potencialidad de nuevas áreas destinadas a la explotación agropecuaria, posibilidades de industrialización y/o exportación e impactos sobre la de mano de obra, aumento de la productividad por unidad de tierra cultivada, habilitación de nuevas tierras destinadas a la producción.
  - Aspectos demográficos: análisis de la tasa de crecimiento de la población y relación con la situación país, niveles socio-económicos (pobreza e indigencia), población rural dispersa, otros.

[7] En el contexto del Manual de Obras de Riego se ha dado particular énfasis a la planificación del uso de los recursos hídricos pero sin desatender los aspectos de planeamiento de desarrollo de la región dentro de la cual se inscriben aquellos usos.

Los requisitos anteriores deben ser respaldados, al menos, por los estudios que se resumen a continuación.

El objetivo del ***estudio del clima*** es proporcionar una descripción completa del clima de la zona del proyecto, a fin de identificar las zonas agro-climáticas de acuerdo a su potencial productivo; debe tener en cuenta aspectos como la precipitación, humedad relativa, la temperatura media, mínima y máxima turbidez, tiempo de frío, las heladas, la evaporación, la intensidad y dirección de los vientos, etc. En estas áreas se observan similares características climáticas y del suelo, y definen las especies que se pueden cultivar, en el caso del riego.

Los ***estudios hidrológicos*** tienen el propósito de cuantificar los recursos hídricos disponibles en el área de influencia del proyecto. Para ello, se requiere realizar las siguientes acciones: i) establecer el régimen hidrológico que caracteriza a la cuenca y analizar las posibles contribuciones de otras fuentes; ello requiere información pluviométrica y nival y llevar a cabo un análisis de caudales máximos y mínimos; ii) realizar una simulación de las series hidrológicas con algunos de los métodos de análisis que consideran la probabilidad de eventos; iii) caracterizar los acuíferos en relación a la profundidad de napa, su ubicación, grosor y otros; establecer mecanismos que rigen la recuperación del nivel de caudal de los ríos y el desbordamiento de agua en las zonas de riego; iv) analizar la calidad del agua para el riego, agua potable y otros usos industriales y comerciales, de acuerdo a las características químicas y bacteriológicas de los recursos hídricos.

Los ***estudios de suelo*** son determinantes en los proyectos de riego, ya que su objetivo es evaluar el potencial productivo de diferentes partes del proyecto. Para ello los suelos deben clasificarse con el fin de establecer si es posible llevar a cabo el sistema de riego y cuáles son los cultivos más adecuados para cada uno de ellos, teniendo en cuenta los parámetros climáticos ya estudiados. Entre otros aspectos deben tenerse en cuenta las características de la topografía, la vegetación, químicos presentes, características físicas y morfológicas de los suelos, entro otros atributos. También deben determinarse las áreas productivas disponibles en el área del proyecto, tanto las de riego actual como las de secano susceptible de ser productivas y en el caso de las que están actualmente en uso, es necesario identificar la distribución de la superficie en función de los principales cultivos obtenidos.

En los proyectos con potencialidad de hidrogeneración es muy importante para analizar las variables asociadas a la ***geomorfología de la cuenca***, definiendo la localización de las posibles caídas de agua, la magnitud de éstas y los flujos del sistema fluvial. Estos factores afectan la viabilidad del proyecto, determinando por ejemplo el potencial eléctrico proyectado. La morfología también determina las soluciones técnicas, definiendo los esquemas de planta, el tipo de turbina y la magnitud de las obras que se requieren para llevar a cabo.

Asimismo, es importante el desarrollo de otros estudios complementarios tales como los ***geológicos***, a fines de minimizar los riesgos sísmicos y los ***medio-ambientales***. Así también debe prestarse atención al ***análisis de la condición jurídica*** y ***situación de***

tenencia de la tierra donde se construirán las obras, las ***alternativas de financiamiento*** de la inversión, los niveles de ***desarrollo agrícola***, ***desarrollo tecnológico***, ***desarrollo social*** y ***desarrollo institucional***, como base para la elaboración de planes de capacitación, asistencia técnica, asistencia crediticia, otros[8]. Los ***estudios de caracterización socio-económica*** son relevantes para determinar la situación actual, participación y comportamiento futuro de la población en el desarrollo económico regional. En tal sentido y a los fines de realizar futuras evaluaciones del proyecto, se sugiere el levantamiento de la línea de base del proyecto, cuyas principales orientaciones se presentan en Apéndice C.

La ***estimación de la demanda potencial*** es un factor clave en la evaluación del proyecto. Por tanto, deberá ser lo más completa posible, no obstante lo cual ello no implica realizar hipótesis de dificultosa veracidad dado que ello puede inducir a asignar recursos en usos no factibles y asimismo, generar falsas expectativas entre los potenciales usuarios de las obras.

En la *estimación de la demanda de agua cruda para uso agrícola* corresponde desarrollar todos los estudios para formular y evaluar proyectos de agua para uso agrícola, incorporando aquellos elementos particulares de este tipo de proyectos. Para la *estimación de la demanda de agua cruda para usos no agrícolas* deben realizarse estudios para estimar los usos potenciales del agua para consumo humano, industrial, minería, energía hidroeléctrica y turismo. Para cada propósito de uso del recurso, se calculan sus demandas mediante la identificación de los usuarios más significativos.

Los *requerimientos totales de agua embalsada* corresponden a la suma de las necesidades de agua correspondientes a todos los usos agrícolas y no agrícolas identificados y la adición del análisis de la potencialidad del proyecto en términos de defensa fluvial (que en estrito rigor constituye una "demanda indirecta" del proyecto). Cabe señalar que en todos los usos, la demanda de agua debe ser calculada mensualmente ya que los requerimientos pueden variar de mes a mes. La estimación podrá realizarse en la unidad de medida que establezca el formulador, aunque en general los volúmenes se estiman en metros cúbicos por mes (m3/mes) o litros por segundo (l/s).

IV. Situación Sin Proyecto

Por definición, la ***Situación Sin Proyecto (SP)*** corresponde a la optimización de la Situación Actual a través de diferentes medidas, de menor costo que el proyecto y que tienen por finalidad no atribuir al proyecto beneficios que podrían obtenerse a través de acciones alternativas. En otros términos, ello implica estimar lo que ocurriría si no se llevara a cabo el proyecto en el horizonte de evaluación.

Una medida frecuente de optimización está dada por el ***manejo de os requerimientos***, que incluye la reducción del consumo, el reciclaje y las tecnologías y políticas que promueven un uso más eficiente del agua por parte de los usuarios finales. En el

[8] En una sección aparte se describen en detalle los requerimientos de información especiales para proyectos de riego.

mismo sentido, mejoras en la gestión del sistema pueden aplazar la necesidad de nuevas fuentes de suministro, al mejorar la eficiencia en la producción y transporte.

Por otra parte, el ***manejo del recurso hídrico***, mediante acciones forestales y estructurales ofrece la oportunidad de reducir la sedimentación de embalses y canales, de manejar el calendario y el volumen de flujos máximos, estacionales y anuales, así como de recargar los acuíferos subterráneos.

Otras medidas de optimización, de inversiones relativamente de menor costo al proyecto, corresponden a la ***transferencia e innovación de tecnología*** e ***implementación de programas de capacitación y asistencia técnica***, la aplicación de medidas de gestión de las obras existentes, la ***re-distribución de los derechos de aprovechamiento de aguas***, la ***revisión de los sistemas de precios***, la ***reducción de pérdidas*** y fugas del sistema de conducción, el ***mejoramiento de la tecnología de transmisión y distribución de energía***, ***mejor gestión*** de las organizaciones institucionales, ***reciclaje de aguas utilizadas***, entre otras. La alternativa de optimización más adecuada debe establecerse a partir de una evaluación comprehensiva del conjunto de opciones institucionales, técnicas y de política.

a. Alternativas de proyecto

Como se ha señalado, en general el agua es un recurso escaso y se requiere en el proceso de producción de diferentes bienes que compiten por su uso. Algunos proyectos pueden tener una única finalidad, otros pueden tener propósitos múltiples; en algunos casos, existirá competencia entre los usos (mutuamente excluyentes) y en otros, existirá complementariedad de beneficios y/o de costos. Por ello, las soluciones corresponden a proyectos de diferente naturaleza y cada alternativa puede estar formada por una o más usos.

Asimismo, las soluciones deben tener en cuenta las alternativas de localización y el tamaño. Cada alternativa de solución debe estar lo suficientemente justificada en cuanto a sus características principales, los impactos positivos y negativos esperados, los costos de inversión, mantenimiento y operación, para lo cual debe desarrollarse una completa descripción y análisis de todas las posibilidades o alternativas viables técnicamente de solución al problema identificado y analizado.

Como resultado de este análisis, se espera un número de obras hidráulicas técnicamente factibles, que satisfacen las necesidades para diferentes usos. Si, por ejemplo, hay tres usos posibles pero excluyentes, entonces, se tendrá tres alternativas. Si por el contrario, hay tres usos posibles, donde dos de ellos son excluyentes y el otro complementario con cualquiera de los anteriores, se tendrán cinco alternativas. Cada una de ellas, con su medida de beneficio y costo esperado.

b. Definiciones técnicas

De los estudios que forman parte del diagnóstico debe identificarse el potencial productivo del agua embalsada. Al comparar este potencial con el nivel actual de producción surgen ideas o alternativas de proyectos que permiten el desarrollo de

cada actividad. Todas las soluciones o alternativas identificadas previamente deben incluir la siguiente información:

- *Especificación de los rasgos distintivos de la alternativa*
- *Ubicación e influencia de la alternativa*

Se debe hacer referencia también a las acciones que se llevarán a cabo y los resultados esperados de cada uno. Se considera adecuado distinguir los siguientes componentes: ***capacitación en gestión eficiente del agua y la operación y el mantenimiento de la infraestructura de riego.***

Debe desarrollarse también un ***modelo de planificación hidráulica*** conteniendo el diseño técnico de la construcción, mejora y/o ampliación de la infraestructura para el riego, para lo cual deben tenerse en cuenta los siguientes pasos:

- ***Sistema de Captura***: la presa es una obra de regulación. Su ubicación y el diseño se determinan teniendo en cuenta aspectos tales como las características fluviales, la geología, la anchura de la cama y su pendiente longitudinal, las condiciones topográficas de la zona, el caudal máximo, mínimo y extraordinario, la cantidad de agua ser capturada, etc. En muchos casos el sistema de captura incluye paredes de la tubería, zancos, tranquilizador captura de la ventana de la cámara, y la limpieza del canal.
- ***Sistema de conducción***: están compuestos principalmente por el canal principal, canales secundarios o una salida (lateral y sub-laterales) y canales terciarios o parcelas. La capacidad para conducir los canales deben definirse teniendo en cuenta la demanda de agua para irrigar los campos, las pérdidas producidas por la filtración a lo largo de los canales, el número de horas por día de riego, la frecuencia de riego, las pérdidas producidas en el manejo de compuertas y la habilidad de los usuarios. En cuanto al ruteo, este debe hacerse teniendo en cuenta las características topográficas, la forma del campo de la irrigación y la distribución de tierras de cultivo.
- ***Sistema de distribución***: los mecanismos hidráulicos se basan en la sección longitudinal de un canal principal de riego. El propósito de estos dispositivos es admitir y ajustar el volumen de agua en la puerta del predio. La ubicación de las presas es importante, ya que facilita la distribución adecuada entre los sectores, evitando conflictos y permitiendo el acceso rápido y oportuno durante el riego.
- ***Construcción de presas***: se produce en los casos donde la disponibilidad de agua no se correlaciona con el área potencialmente equilibrada de riego y requiere el diseño de estructuras de almacenamiento para resolver los déficits temporales. Debe especificar el volumen de almacenamiento de agua.
- ***Dispositivos adicionales en obras hidráulicas***: corresponde al diseño de acueductos, las caídas y saltos, alcantarillado, canoa, sifón invertido, etc.

- ***Sistemas y tecnologías de operación***: por ejemplo, en riego el sistema de entrega de agua embalsada debe proponer el sistema de riego (aspersión, goteo, gravedad, etc.), especificando el equipo necesario y los niveles de eficiencia de riego debido al cambio.
- ***Sistemas de desagüe***: es necesario establecer los parámetros de diseño que definen el sistema de drenaje. Por ejemplo, para establecer la profundidad de los desagües, teniendo en cuenta el sistema con que el agua fluye a través de ellos, el tipo de cultivo y la textura del suelo.

Asimismo, todas las alternativas deberán ser evaluadas, independientemente de las demás, en la medida en que sean separables. El concepto de separabilidad también aplica a todos los proyectos relacionados, sean tanto de construcción como de mejoras de los sistemas de captación, embalse y distribución de agua e incorporación de tecnología para mejorar la eficiencia de entrega.

Los caudales de la cuenca o afluente hidrográfico determinarán el tamaño máximo de la infraestructura. El ***caudal firme*** corresponde al caudal máximo que se puede retirar del embalse en un período crítico. Si el embalse ha sido dimensionado para compensar los caudales a lo largo de un año hidrológico, generalmente se considera como período crítico al año hidrológico en el cual se ha registrado el volumen aportado mínimo. Sin embargo existen otras definiciones para el período crítico también aceptadas, como por ejemplo el volumen anual de aporte hídrico superado en el 75% de los años, que es una condición menos crítica que la anterior; el ***caudal regularizado***: es el caudal que se puede retirar del embalse durante todo el año hidrológico, asociado a una determinada probabilidad.

La ***presa hidráulica*** corresponde al muro fabricado con piedra, hormigón o material suelto, que se construye habitualmente en un desfiladero sobre un río, arroyo o canal con la finalidad de almacenar agua para su posterior aprovechamiento. La energía mecánica puede aprovecharse directamente, como en los antiguos molinos, o de forma indirecta para producir energía eléctrica, como se hace en las centrales hidroeléctricas. En tanto, un ***dique*** es una pared artificial ó natural que detiene a un cuerpo de agua. Presa y represa son el conjunto del cuerpo de agua retenido y su dique. Son sinónimos. Y ***embalse*** se le denomina al espacio que contiene al cuerpo de agua retenido.

Los volúmenes característicos de los embalses corresponden a: i) ***volumen muerto***: volumen bajo la cota de la torre de toma de agua y que tiene por objetivo acumular sedimentos durante la vida útil del embalse; ii) ***volumen útil***: volumen comprendido entre el nivel mínimo minimorum y el nivel máximo operacional; iii) ***volumen de laminación***: volumen comprendido entre el nivel máximo operacional y el nivel máximo normal. Este volumen es utilizado para reducir el caudal vertido, limitando los daños aguas abajo. Desde el punto de vista de la operación los volúmenes se clasifican en: i) ***mínimo minimorum***: nivel mínimo que puede alcanzar el embalse, coincide con el nivel mínimo de la toma situada en la menor cota; ii) ***mínimo operacional***: nivel por debajo del cual las estructuras asociadas al embalse y la presa

no operan u operan en forma inadecuada; iii) ***nivel medio***: nivel que tiene el 50% de permanencia en el lapso del ciclo de compensación del embalse, que puede ser de un día, para los pequeños embalses, hasta períodos plurianuales para los grandes embalses (el período más frecuente es de un año); iv) ***nivel máximo operacional***: al alcanzarse ese nivel se comienza a verter agua con el objetivo de mantener el nivel pero sin causar daños aguas abajo; v) ***nivel del vertedero***: si la presa dispone de un solo vertedero libre, el nivel de la solera coincide con el nivel máximo operacional. Cuando el vertedero está equipado con compuertas, el nivel de la solera es inferior al máximo operacional; vi) ***nivel máximo normal***: al llegarse a este nivel la operación cambia de objetivo y la prioridad es garantizar la seguridad de la presa (por los daños que puedan ocurrir aguas abajo); vii) ***nivel máximo maximorum***: en este nivel ya la prioridad absoluta es la seguridad de la presa; corresponde a la cota de coronamiento, ya que pone en riesgo la estabilidad del embalse. Se mantiene el nivel indispensablemente, por lo cual el caudal descargado es igual al caudal que entra en el embalse. Desde el punto de vista de su capacidad reguladora, el embalse puede tener un ***ciclo diario, mensual, anual***, e incluso, en algunos pocos casos ***plurianual***.

Por último, en la definición de las alternativas debe considerarse la posibilidad de utilizar diferentes características técnicas para construir las infraestructuras: trazas de canales, materiales de construcción, equipamiento requerido y otros.

V. Situación Con Proyecto

La situación CP se define como aquella cuya materialización se espera con mayor probabilidad por la ejecución del proyecto; es decir, corresponde a la situación a la cual se espera llegar una vez realizado el proyecto, para lo cual deben definirse los diferentes usos alternativos del agua embalsada, estimando los efectos directos, indirectos, secundarios, externalidades e intangibles. Los beneficios y costos netos del proyecto se obtienen de la comparación de las situaciones SP y CP.

c. Beneficios directos del proyecto

i. Identificación

Los ***beneficios directos*** corresponden al valor que tiene para el país ejecutar el proyecto, medido conceptualmente a través del *aumento del consumo* de los bienes y servicios producidos por el proyecto (por ejemplo productos agrícolas o industriales, agua potable, energía eléctrica, servicios turísticos o de defensa fluvial y control de crecidas, entre otros) y por la *liberación de recursos* de los insumos que el proyecto genera (por ejemplo ahorros de costos de extracción de agua por acuíferos y reposición de infraestructura urbana en proyectos de defensa fluvial y control de crecidas).

Entre otros beneficios de los proyectos de embalses y obras hidráulicas anexas se han estimado los correspondientes a riego, generación hidroeléctrica, agua potable, minería, defensa fluvial y control de crecidas y turismo.

ii. Cuantificación y valoración

La cuantificación y valoración implica realizar las estimaciones de las magnitudes físicas que corresponden a cada uno de los beneficios identificados anteriormente. Aún cuando los usos del agua embalsada sean complementarios (por ejemplo riego y turismo) o sustitutos (por ejemplo hidrogeneración y defensa fluvial y control de crecidas), los beneficios directos del proyecto pueden estimarse de la siguiente manera:

$$BSD = \sum_{j=1}^{n} \sum_{k=1}^{m} X_{kj} * P_{kj}^{s} - \sum_{j=1}^{n} \sum_{l=1}^{s} Y_{lj} * P_{lj}^{s}$$

Donde:

BSD son los beneficios sociales directos del proyecto;

X_{kj} son las cantidades de los *k* bienes y servicios producidas por el proyecto en el propósito *j*;

P^{s}_{kj} son los precios sociales de los *k* bienes y servicios producidas por el proyecto en el propósito *j*;

Y_{lj} son las cantidades de los *l* bienes y servicios consumidos por el proyecto en el propósito *j*;

P^{s}_{kj} son los precios sociales de los *l* bienes y servicios consumidos por el proyecto en el propósito *j*;

En otros capítulos del proyecto se desarrollan en extenso las metodologías para estimar los beneficios indicados anteriormente.

d. Costos directos del proyecto

Además de los costos de producción de los bienes indicados en el punto anterior, deben atribuirse al proyecto los costos sociales por las inversiones y mantenimiento necesarios para el funcionamiento del nuevo sistema de suministro, distribución y aplicación de agua. Desde ya, es recomendable prestar especial atención a los tiempos de inversión, ya que el retraso en la terminación de las obras afecta directa y negativamente la rentabilidad del proyecto.

i. Costos de inversión

Los proyectos relacionados al riego comprenden inversión en infraestructura, costos de equipos y transferencia de tecnología, entre los más importantes. La ***infraestructura*** corresponde a las obras civiles y equipos, obras de conducción y distribución, reservorios, revestimiento de canales, equipos de bombeo, instalación de drenajes de los dispositivos de regulación de los flujos de agua, expropiaciones y otros. Dentro de los costes de ***inversión*** se incluye la compra de equipos para adecuación técnica del sistema de riego intra-predial (sistemas de aspersión o goteo y costo del equipo necesario: bombas, filtros, tubos, etc.). En el caso de que el proyecto

incorpora áreas de secano al riego, junto con los costos de la inversión se debe considerar los ***costos de las labores*** realizadas en las parcelas de secano y dentro de la parcela (gastos de cubierta que regará la tierra e incluyen los costos de construcción de la infraestructura para permitir el riego y el costo de la nivelación del terreno, construcción de canales, el desmontaje, canales internos y drenaje, caminos internos y drenaje). Los costes relacionados con la ***transferencia de tecnología*** corresponden a los gastos de capacitación en los beneficiarios para indicar el funcionamiento y mantenimiento de la infraestructura y las maneras de implementar mejoras en sus unidades de producción. Se debe elaborar un calendario detallado de cada uno de las inversiones, con estimación del posible aumento de los costos.

ii. Costos de operación y mantenimiento

Los costos de ***operación y mantenimiento*** se registran durante la vida útil del proyecto y son los que permiten el buen funcionamiento del sistema; deberán estimarse considerando todos los costos correspondientes a los usos del agua cruda en proyectos de riego, hidrogeneración, minería, agua potable, turismo, defensa fluvial y otros.

Los costos anuales de *operación y mantenimiento* son realizados para la distribución de agua desde la fuente hasta los usos y los gastos para las reparaciones de mantenimiento y de limpieza (personal operativo, energía, combustibles y labores de mantención como limpieza de canales, adquisición de repuestos y otros, operación de las presas, limpieza de estanques, etc.), los que dependen de cada proyecto en particular. En cuanto a los costos de operación y mantenimiento dentro de las parcelas, es necesario tener en cuenta la diferencia entre los costes de operación y mantenimiento del sistema de riego SP y CP. Dado que estos gastos son periódicos, deben proyectarse en el tiempo. Si la adopción del sistema por los usuarios es gradual, esto debería reflejarse en el flujo de costos.

Igualmente se deben incluir costos operativos asociados a cumplimiento de requerimientos ambientales.

e. Efectos secundarios, indirectos y externalidades del proyecto

Un proyecto también puede tener ***otros efectos***, positivos o negativos, que deben incluirse en la evaluación socioeconómica. Estos efectos se observan en los mercados de bienes relacionados, sustitutos o complementarios, en los cuales el proyecto incide como oferente o demandante de bienes y servicios. Algunos efectos representan un beneficio para el país y otros un costo. Lo relevante son los efectos netos.

Los ***efectos secundarios*** provienen de las distorsiones que ocurren en los mercados de los insumos del proyecto, al igual que de los mercados que utilizan al producto de los proyectos como insumo. Por ejemplo, si el agua provista por el embalse se utiliza en la agricultura para producir remolacha, la curva de oferta de ésta puede no representar el costo marginal social, pues pueden existir distorsiones en el precio de la mano de obra (impuestos al trabajo por caso) y su curva de demanda puede no representar el

beneficio marginal social pues podría existir una distorsión en el mercado del azúcar (precio mínimo o banda de precios), que demanda remolacha en su proceso productivo.

En el caso de los bienes domésticos, para que existan efectos directos secundarios en los mercados de bienes o insumos debe ser cierto que han cambiado los precios y cantidades producidas o consumidas de los éstos y que existen distorsiones en los mercados. Los *efectos directos secundarios* pueden ser positivos o negativos y a efectos de la evaluación, lo relevante es el efecto secundario neto total.

Los ***efectos indirectos*** se observan en los mercados de bienes complementarios y los sustitutos con los que el proyecto producirá o en los que el proyecto utilizará como insumos (bienes relacionados con el proyecto). Si debido al proyecto cambia el precio del bien que se produce o de los insumos que utiliza, la posición de la curva de demanda de los bienes relacionados se traslada, lo que implica que cambien las cantidades consumidas, producidas y/o importadas o exportadas del bien relacionado, lo cual representa efectos en las cantidades que deben tenerse en cuenta en la evaluación social. Los efectos indirectos netos totales por período de tiempo se obtienen sumando los efectos en cada mercado relacionado. En el caso de los bienes transables (cuyo precio no se altera debido al proyecto), no hay efectos indirectos.

Como en el caso de los efectos secundarios, para que exista un efecto indirecto neto en una actividad relacionada, no basta que ocurran cambios en ella, sino que existan distorsiones en los mercados correspondientes. Los beneficios indirectos y secundarios pueden estimarse de la siguiente manera:

$$BSIS = \sum_{j=1}^{n} \sum_{h=1}^{u} \Delta Z_{hj} * B_{hj}^{s}$$

Donde:

BSIS son los beneficios sociales indirectos y secundarios del proyecto;

$\boldsymbol{\Delta Z_{hj}}$ son los aumentos netos, positivos o negativos, de los *h* bienes y servicios producidos indirecta y secundariamente por el proyecto en el propósito *j*;

$\boldsymbol{B^{s}_{hj}}$ es el beneficio neto social indirecto, positivo o negativo, de los *h* bienes y servicios producidos indirecta y secundariamente por el proyecto en el propósito *j*;

La evaluación social debe incluir también las ***externalidades*** positivas o negativas causadas por el proyecto sobre los mercados que son afectados por éste, aún cuando el mismo no participe de los mismos. Por ejemplo, los efectos sobre la red vial relevante cuando el proyecto, en régimen, provoca un impacto sobre la carga transportada en una determinada área. Asimismo, pueden existir beneficios y costos difíciles de cuantificar y/o valorar en términos monetarios. Por ejemplo, un proyecto puede afectar el clima de una región de influencia, afectando la calidad de vida de una población dada. La evaluación debe incorporar estos efectos, aún cuando no pueda medirlos, a fin de todos los elementos determinantes sean analizados en la instancia de recomendación sobre la ejecución o no del proyecto.

Los beneficios netos por externalidades pueden estimarse de la siguiente manera:

$$BSX = \sum_{j=1}^{n} \sum_{h=1}^{u} \Delta E_{gj} * C_{gj}^{s}$$

Donde:

BSX son los beneficios sociales por externalidades del propósito *j;*

ΔE$_{gj}$ son los aumentos netos, positivos o negativos, de los *h* bienes y servicios producidos como externalidad por el proyecto en el propósito *j;*

C$^{s}_{g}$ es el beneficio neto social indirecto, positivo o negativo, de los *h* bienes y servicios producidos como externalidad por el proyecto en el propósito *j;*

La Figura N°1.B representa dos circunstancias generales, donde, desde el punto de vista económico social, se detecta, en el primer caso, la presencia de externalidades negativas a la producción y positiva en el consumo, respectivamente. En términos analíticos, se tiene que:

CMgS = CMgP + CMgE (1)

BMgS = BMgP + BMgE (2)

Donde:

CMgS es el costo marginal social

CMgP es el costo marginal privado

CMgE es el costo marginal de la externalidad

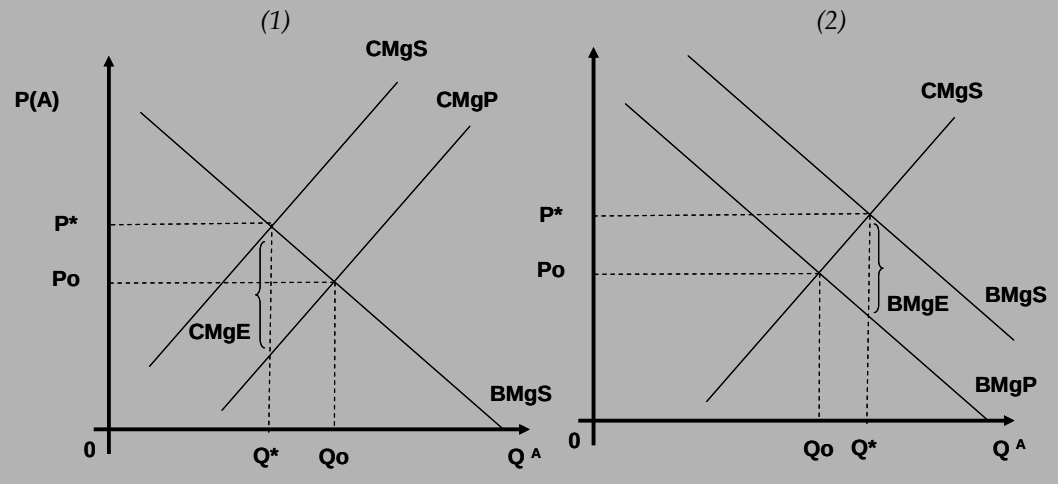
BMgS es el beneficio marginal social

BMgP es el beneficio marginal privado

BMgE es el beneficio marginal de la externalidad

Figura N°1.B

Ejemplos de externalidades



Fuente: Elaboración propia en base antecedentes varios.

Según (1), la presencia de costos marginales externos genera que los costos sociales sean diferentes a los costos privados. En (2) la presencia de beneficios externos impone la diferencia entre beneficios privados y sociales en términos marginales o incrementales.

Una completa revisión de los efectos indirectos, secundarios y externalidades para embalses y obras hidráulicas anexas se presenta en el Apéndice B.

f. Efectos Intangibles

Corresponden al conjunto de beneficios y costos, que siendo externalidades son difícilmente cuantificables, medibles y tipificables. Si bien deben ser identificados, dificultades prácticas hacen que no se valoren. Por ejemplo, la *mejor distribución del ingreso* de la población y los *efectos geopolíticos en las zonas limítrofes* en las cuales se desea mantener asentamientos humanos por razones de *soberanía*. Estos efectos, por su naturaleza no pueden ser evaluados. Sin embargo, la formulación debe ser rigurosa en su identificación, con el fin de tener en cuenta en la decisión final todos los elementos determinantes.

VI. Análisis de rentabilidad

El análisis de rentabilidad permite estimar los indicadores que servirán de guía para la toma de decisión y recomendación de ejecución del proyecto, su reformulación o su rechazo. La evaluación o valoración de los beneficios del proyecto implica la realización de dos etapas consecutivas: primero, la evaluación a precios privados y luego, la evaluación social.

La ***evaluación a precios privados*** permite estimar la factibilidad y viabilidad de las inversiones privadas asociadas al proyecto y estimar la pertinencia y conveniencia de establecer mecanismos de transferencias (subsidios o impuestos) cuando el valor actual neto de los beneficios privados es diferente del valor actual neto de los beneficios sociales. Asimismo, la evaluación a precios privados permite identificar la potencialidad de financiamiento del proyecto por parte del sector privado.

La ***evaluación social*** tiene por objetivo desarrollar el análisis comparado de la conveniencia de realizar el proyecto desde el punto de vista social y considerando todos los propósitos. La evaluación desde el punto de vista de la sociedad puede hacerse a precios de mercado, siempre que dichos precios reflejen adecuadamente la escasez de insumos y productos desde el punto de vista social. En caso contrario deberían hacerse los ajustes correspondientes.

a. Indicadores de rentabilidad

Los principales indicadores de rentabilidad están dados por el valor actual de los beneficios y la tasa interna de retorno. El ***Valor Actual Neto Social (VANS)*** del proyecto estará dado por:

$$VANS = \sum_{i=0}^{t} \sum_{j=1}^{n} \frac{-Io + BSD_i^j + BSIS_i^j + BSX_i^j}{(1+r^*)^i}$$

Donde:

VANS es el valor actual neto social del proyecto;

Io es la inversión inicial;

BSD^j_i son los beneficios sociales directos del propósito *j*;

$BSIS^j_i$ son los beneficios sociales indirectos y secundarios del propósito *j*;

BSX^j_i son los beneficios netos sociales por externalidades del propósito *j*;

n es el total de propósitos del embalse (riego, minería, agua potable, turismo, defensa fluvial y control de crecidas y otros);

r* es la tasa social de descuento;

t es el horizonte de evaluación social del proyecto.

Si el proyecto tiene VANS positivo, es conveniente su ejecución; en caso contrario debe recomendarse su rechazo o reformulación. Si el VANS es cero, en ausencia de otro tipo de consideraciones, la sociedad debería ser indiferente a ejecutar o no el proyecto. No obstante, al tomar la decisión sobre la ejecución del proyecto, deben considerarse todos los beneficios y costos que no pudieron ser debidamente cuantificados y valorados.

El otro indicador de rentabilidad habitualmente utilizado es la ***Tasa Interna de Retorno Social*** (***TIRS***), la que mide la rentabilidad promedio que tiene un determinado proyecto, suponiendo que los flujos se reinvierten en el mismo proyecto y a una tasa constante. Matemáticamente, corresponde a la tasa de descuento que hace el VANS igual a cero. La TIRS se usa complementariamente al VANS, ya que son criterios equivalentes y se estima de la siguiente manera:

$$0 = \sum_{i=0}^{t} \sum_{j=1}^{n} \frac{-Io + BSD_i^j + BSIS_i^j + BSX_i^j}{(1+p^*)^i}$$

Donde:

p* es la tasa interna social de retorno;

El criterio de decisión al utilizar la TIRS es el siguiente: i) si $p^* > r^*$, es conveniente ejecutar el proyecto; ii) si $p^* < r^*$, no es conveniente ejecutar el proyecto.

La priorización de proyectos es relevante para el formulador cuando debe planificar el programa de inversiones y respetar la premisa de maximizar el bienestar social con los recursos disponibles.

Cuando ***no existe racionamiento de capitales*** y los ***proyectos son independientes***, deben aceptarse todos los proyectos que tienen *VANS* positivo, a la tasa de descuento pertinente (Fontaine, 2001) y ordenarlos de mayor a menor de acuerdo a este indicador.

No obstante, cuando los proyectos son ***interdependientes***, el orden dependerá de la tasa de descuento: a algunas tasas, convendrá un set de proyecto y a otras tasas, otro conjunto. Aún a pesar de lo anterior, el mejor criterio sigue siendo el de asignar los fondos a los proyectos de ***mayor VANS***, dado que son aquellos que mayor aumento de la riqueza producen a la sociedad. De este forma, dados 2 proyectos A y B, debe calcularse el VANS de A, el VANS de B y el VANS de A+B y decidir entre las alternativas, aquella que tenga mayor VANS.

Cuando ***no existe racionamiento de capitales*** y los ***proyectos son independientes***, deben aceptarse todos los proyectos con VANS positivo y ordenarse de mayor a menor de acuerdo a este indicador. (Fontaine, 2001). Sin embargo, cuando los proyectos son ***interdependientes***, el orden dependerá de la tasa de descuento: a algunas tasas, convendrá un set de proyecto y a otras tasas, otro conjunto. No obstante, el mejor criterio sigue siendo el de asignar los fondos a los proyectos de ***mayor VANS***, dado que son aquellos que mayor aumento de la riqueza producen a la sociedad.

Con ***racionamiento de capitales***, si los ***proyectos pudieran venderse***, el presupuesto se maximiza estimando el ***IVANS*:**

$$IVANS = VANS / VAIoS$$

Donde:

IVANS es el indicador de VANS por peso invertido;

VANS es el valor actual neto social de la inversión pública;

VAIoS es el valor actual de la inversión inicial estimado a precios sociales.

Ordenando los proyectos de acuerdo al *IVANS*, mayor a menor se agota el presupuesto, maximizando su valor. No obstante, el criterio del *IVANS* sólo es válidamente aplicable al caso de los ***proyectos cuyas inversiones duran un año*** y en que en los años siguientes no habrá restricciones presupuestarias.

Cuando la ***restricción presupuestara es de corto y mediano plazo***, un año por ejemplo, el criterio relevante es la ***tasa imputada de retorno social*** (***TIPRS o ρ^i***), que equivale a la *TIRS* de los años con restricción presupuestaria, suponiendo que esta luego se levanta. En forma generalizada, la *TIPRS(m)* puede estimarse a partir de:

$$VANS = IoS + \sum_{j=1}^{n-m} \frac{BNS(n-m)}{(1+p\hat{}(\mathrm{n-m})^{j})} + \sum_{i=n-m+1}^{n} \frac{BNS(i)}{(1+r^{*})^{i}}$$

Donde:

VANS es el valor actual neto social de la inversión pública;

IoS es la inversión inicial estimado a precios sociales (la inversión dura un año).

BNS(n-m) son los beneficios netos sociales de los años de vida útil del proyecto en los cuales existe restricción de capitales;

ρ^(n-m)^{j} es la tasa imputada de retorno de los años de vida útil del proyecto en los cuales existe restricción de capitales***;***

BNS(i) son los beneficios netos sociales de los restantes años de vida útil del proyecto;

r* es la tasa social de descuento (igual para todos los períodos sin restricción de capitales);

m son los períodos sin restricción de capitales;

El argumento de ***restricción temporal de capitales*** resta aplicabilidad a la *TIRS* como criterio de priorización, ya que esta última supone que los fondos podrán reinvertirse permanentemente a la misma tasa. De este modo, si la tasa de descuento cambia dentro del horizonte de vida útil del proyecto, el procedimiento de descontar los flujos a una misma tasa no es correcto (Fontaine, 2001). Así, con racionamiento de capitales la regla recomendada consiste en calcular la *TIPRS* y ordenar los proyectos en forma decreciente de acuerdo a ésta hasta agotar el presupuesto. No obstante, la regla no será válida si no se agota exactamente el presupuesto[9].

[9] Para mayores antecedentes revisar documento "Metodología de Priorización de Embalses y Obras Hidráulicas Anexas", elaborado por del Departamento de Metodologías de la División Planificación, Estudios e Inversiones del Ministerio de Planificación.

b. Horizonte de evaluación

El ***horizonte de evaluación*** corresponde a los años de vida útil del proyecto. En la mayoría de obras de aprovechamiento de agua es común utilizar un valor de 25 o 30 años. No obstante, con alta probabilidad las obras tienen una vida útil más allá de este período. Si es así, todos los beneficios netos que se producen a partir de ese momento, deben ser actualizados e incorporados como un beneficio, en la forma del *valor residual*.

c. Valor residual

Cualquiera sea el indicador de rentabilidad utilizado, el ***valor residual***, estimado al cabo de la vida útil del proyecto, podrá ser estimado económicamente o por otro método, siempre que éste último se justifique adecuadamente. El *valor residual económico* se estima como el VANS del flujo futuro de beneficios netos del proyecto desde el año n (horizonte de evaluación) hasta el año $n+m$. No obstante, suele utilizarse frecuentemente un enfoque "ingenieril", denominado *valor patrimonial*, que estima el valor residual a partir de las funciones de deterioro de la infraestructura y las políticas de conservación aplicadas. A los fines de la presente metodología, ambos enfoques se consideran válidos en la medida en que sean adecuadamente respaldados con información fiable y verificable.

Debe tenerse en cuenta que cuando el proyecto multipropósito incluye el uso del embalse para defensa fluvial y control de crecidas, el *valor residual* estará determinado por la sedimentación acumulada en el embalse y la obstrucción del desagüe de medio fondo, que impide la evacuación de las aguas.

Por otra parte, el volumen de regulación puede aumentarse liberando caudal para riego u otros usos, lo cual contribuye a sacar parte del sedimento acumulado y aumenta la vida útil del embalse. Por ello, deberán valorizarse adecuadamente los costos de mantenimiento, conservación y limpieza de sedimento de los canales.

d. Precios sociales

Los ***precios sociales*** se definen como el costo económico o de oportunidad de los bienes y servicios producidos y consumidos por el proyecto. En situación de equilibrio competitivo, el "costo de oportunidad" de los factores de producción es igual a su precio de mercado. No obstante, cuando los mercados presentan distorsiones es necesario incorporar en la evaluación social las correcciones correspondientes para determinar los verdaderos costos de oportunidad de los factores. El Sistema Nacional de Inversiones actualiza e informa anualmente los diferentes precios sociales que se presentan a continuación.

La ***tasa social de descuento*** corresponde al costo de oportunidad social del capital o costo de oportunidad en que incurre el país cuando utiliza recursos para financiar proyectos. Estos recursos provienen del menor consumo (o mayor ahorro), menor

inversión privada y financiamiento externo[10]. Las tasas de descuento a utilizar en la evaluación a precios privados, deben reflejar el costo del capital de cada sector y por tanto, ser estimadas para cada proyecto.

El ***precio sombra de la divisa*** corrige las distorsiones en los sectores de bienes y servicios transables internacionalmente (aranceles y/o subsidios) y está determinado por la oferta y demanda en conjunto con la estructura arancelaria. De esta forma, debe calcularse sobre la base del tipo de cambio del dólar observado (TC Obs.). La fórmula para el cálculo del precio social de la divisa es:

$$PSD = F * TCObs$$

Donde:

PSD es el precio social de la divisa;

F es el factor de ajuste social de la divisa;

TCObs es el tipo de cambio observado;

El ***precio sombra de la mano de obra*** se estima a partir del enfoque de eficiencia (Harberger[11]), adaptando su aplicación a las condiciones del mercado laboral. Corresponde al costo marginal en que incurre la sociedad por emplear un trabajador adicional de cierta calificación en una determinada actividad. Se entiende por *mano de obra calificada* a aquellos trabajadores que desempeñan actividades cuya ejecución requiere estudios previos o amplia experiencia (por ejemplo profesionales, técnicos, obreros especializados como maestros de primera, mecánicos, electricistas, artesanos, pintores, carpinteros u otros). *Mano de obra semi calificada* corresponde a los trabajadores que desempeñan actividades para las cuales no se requiere estudios previos y cuya experiencia no los califica para ser considerados mano de obra calificada. Está conformada por maestros de segunda, asociados a las tareas de albañilería, pintura, carpintería y otros. Por último, *mano de obra no calificada* corresponde a aquellos trabajadores que desempeñan actividades cuya ejecución no requiere de estudios ni experiencia previa; tal el caso de jornaleros, cargadores y personas sin oficio definido. La fórmula para el cálculo del precio social de la mano de obra es:

$$PSMO_j = G_j * WObs_j$$

Donde:

PSMO$_j$ es el precio social de la mano de obra de calificación *j* (calificada, semicalificada, no calificada);

G$_j$ es el factor de ajuste social de la mano de obra de calificación *j* (calificada, semicalificada, no calificada);

---

[10] De esta forma, la tasa social de descuento depende de la tasa de preferencia intertemporal del consumo, de la rentabilidad marginal de la i nversión privada y de la tasa de interés de los créditos externos.

[11] Harberger, A. (2002). Ministerio de Planificación de Chile.

WObs$_j$ es el salario bruto observado de la mano de obra de calificación *j* (calificada, semicalificada, no calificada);

Existen otros mercados en los cuales también se presentan distorsiones y en los cuales corresponde la estimación de precios sociales: MIDEPLAN también estima el ***valor social del tiempo***, el ***precio social del combustible y lubricantes*** y la mano de obra de mantención. El Cuadro N°1.3 muestra las principales correcciones de precios.

Cuadro N°1.3

Ajustes de otros precios sociales

	Inversión Inicial	**Operación, mantención, monitoreo y transporte**
Terreno (expropiaciones)	Valor de Mercado sin corrección	N/A
Otros bienes e insumos nacionales	Valor de Mercado menos IVA	Valor de Mercado menos IVA
Materiales importables	(Valor de Mercado sin corrección IVA y menos aranceles) * PSD	(Valor de Mercado menos IVA y menos aranceles)* PSD
Gastos Generales y Utilidades	VM menos IVA	VM menos IVA

Fuente: Elaboración propia en base SNI, MIDEPLAN (2010).

VII. Análisis comparado de alternativas

Los indicadores calculados a partir del flujo de beneficios y costos de una alternativa de proyecto permiten determinar la conveniencia de avanzar hacia etapas superiores de evaluación. Los embalses, al interrumpir el cauce natural de un río, ponen a disposición de los usuarios un volumen de almacenamiento potencial que puede ser utilizado para múltiples fines (complementarios y sustitutos)[12]. Por ello deberán analizarse diferentes tamaños de proyecto con el fin de determinar el óptimo. Si las soluciones se componen de dos o más proyectos, lo correcto es evaluar cada proyecto por separado, aplicando el principio de *separabilidad de proyectos*, a fin de asegurar que los proyectos y subproyectos sean los más convenientes. En tal sentido, cada uno debe ser evaluado independientemente de los demás y si es pertinente, también en conjunto[13].

Por otra parte, deben considerarse las habilidades de conducción de los canales, las capacidades de almacenamiento de las presas y cualquier otra optimización

[12] Por ejemplo, un uso de *maximización* requiere que el embalse esté lo más lleno posible, garantizando el mayor caudal regularizado; éste es el caso de los usos del agua para generación de energía eléctrica, riego, abastecimiento de agua potable o industrial, turismo, pesca deportiva y comercial, entre otros. Por el contrario, un *uso de minimización*, hará que el embalse sea más útil cuanto más vacío se encuentre al momento de recibir las crecidas; tal es el caso por ejemplo del control de crecidas.

[13] Por ejemplo, en el caso de los proyectos de riego, deben considerarse separadamente las reparaciones de infraestructura existente, de la ampliación de canales y la limpieza e impermeabilización, ya que todos permiten recuperar la capacidad original del sistema.

relacionada con el área de influencia del proyecto. Ello se logra sectorizando (o tramificando), a fin de delinear el proyecto en una zona determinada e ir evaluando el aumento gradual del tamaño al incorporar un nuevo sector. De esta manera, es posible evaluar la inversión adicional que requiere el aumento del tamaño del proyecto, que se extiende geográficamente, con los beneficios netos generados.

Dado que el agua cruda embalsada es un insumo intermedio en la producción de otros bienes y servicios, su asignación entre los diferentes usos estará determinada por su productividad marginal en cada uno de los sectores.

a. Asignación del agua entre los diferentes usos

Suponiendo que el valor de la producción puede ser dividido en partes para poder asignarle a cada factor un valor correspondiente[14] y curvas de demanda con pendiente negativa, puede determinarse la asignación del agua cruda entre los recursos a partir de una función de producción genérica para usos complementarios y sustitutos:

$$Y = f\,(OT, A)$$

Donde

OT son otros factores de producción (capital, trabajo y tierra);

A es el factor de producción agua;

Dadas las economías de escala y costos hundidos de una obra de este tipo constituyen una barrera estructural a la entrada, que impide la competencia potencial, debe establecerse un sistema de precios que permita alcanzar el óptimo social (o que al menos se aproxima lo más posible a éste), asignando el agua en forma eficiente entre los diferentes usos.

Los beneficios del embalse pueden definirse por medio de la siguiente función:

$$\Pi = p(q) * q - CT(q)$$

Donde:

p(q) es el precio social o valor económico por metro cúbico de agua embalsada;

q es la cantidad de metros cúbicos de agua embalsada;

CT(q) es el costo total del embalse.

La condición de maximización de beneficios indica que el embalse entregará la cantidad de metros cúbicos de agua tales que el ingreso marginal sea igual al costo marginal social:

$$\frac{\partial p}{\partial q} * q + p = \frac{\partial CT(q)}{\partial q}$$

[14] Ello supone la estimación del valor del agua a partir del ***cambio en el ingreso neto*** e incorpora el concepto de disposición a pagar, ya que está relacionada con el ingreso neto del productor.

De este modo, la condición de maximización de beneficios asegura igualdad de beneficios y costos marginales, alcanzándose el óptimo social. Si los otros insumos son producidos en mercados competitivos, el agua se asignará entre los diferentes usos hasta el punto en que el ingreso marginal obtenido por consumir una unidad adicional sea exactamente igual al costo marginal de obtenerla en cada uno de los sectores, por lo cual debería cumplirse que:

$$V(A) = VPMgA(i); \forall i = 1,...,n$$

Donde:

VPMgA(i) es el Valor del Producto Marginal del Agua en el sector *i* (producto marginal del agua en el sector multiplicado por el precio del bien final de producción=.

V(A) es el valor económico del agua embalsada;

i son todos los usos potenciales del agua.

Este análisis supone que se conocen exactamente las funciones de producción de cada uno de los sectores, por lo cual puede derivarse el producto marginal y estimar la curva de VPMgA en cada sector y que no existirán precios distorsionados que inducirán a errores en la estimación. No obstante, si ello no ocurre, debe establecerse una política de precios que permita alcanzar el óptimo social (o que al menos se acerque a éste)[15].

Sin embargo, por la condición de costo medio de largo plazo (CMeLP) decreciente, un oferente no regulado elevará el precio por sobre el costo marginal, evitando que la sociedad alcanza el óptimo. Por la importancia de determinar qué precio se debe cobrar por el metro cúbico de agua embalsada, se desarrolla una propuesta de sistema de precios óptima que se desarrolla en el documento "Propuesta Metodológica para la Tarificación y Subsidio Focalizado en Proyectos de Embalses y Obras Hidráulicas Anexas"[16].

b. Tamaño, localización y momento óptimo

Habitualmente, la optimización del proyecto tiene relación con la determinación del tamaño, localización y momento óptimo de ejecución del proyecto. Sin embargo, por la naturaleza de los proyectos y suponiendo que las asignaciones del agua entre los usos competitivos se realiza a través de un sistema de precios que determina el tamaño óptimo del embalse, el apartado se limitará al análisis de momento óptimo, suponiendo que la definición de la localización óptima ha sido ya parte del análisis a nivel de cuenca. No obstante, este supuesto puede levantarse e indicarse la efectiva

[15] La ecuación anterior define las cuotas de asignación óptimas del agua y es determinante no sólo para estimar la rentabilidad agregada del embalse y las obras hidráulicas anexas, sino asimismo para determinar el tamaño óptimo de éste y la política de uso y gestión de los recursos embalsados.

[16] Departamento de Metodologías – División de Planificación, Estudios e Inversiones. MIDEPLAN (2011).

necesidad de re-evaluar diferentes alternativas de localización como parte de la evaluación socio-económica de proyecto.

El ***momento óptimo*** indica la fecha de inicio de obras que maximiza el VANS del proyecto y puede estimarse a partir de éste, suponiendo que la inversión se atrasa o adelanta un período. Si el VANS de atrasar el proyecto es menor que el estimado iniciando ahora las obras, la recomendación es materializar a la brevedad la iniciativa. Por otra parte, si el VANS de postergar el proyecto es mayor, éste debe postergarse y calcularse nuevamente el VANS de continuas postergaciones del proyecto hasta que se encuentre la relación:

$$VANS\ (n)\ >\ VANS\ (n+1)$$

Donde:

n **y** ***n+1*** son los últimos flujos considerados en la evaluación del proyecto.

En función del ajuste en el tiempo de inicio de la ejecución de un proyecto se debe considerar y estimar las variaciones de los beneficios y/o costos de inversión del proyecto en función de los cambios en la programación inicial. Esta situación es frecuente en proyectos por ejemplo de agua potable, donde los beneficios netos del proyecto dependen del crecimiento de la población (la que crece en general a medida que crece el tiempo). Al estimar el momento óptimo de ejecutar un proyecto deberán considerarse los costos de interferencia, crecientes en el tiempo en áreas densamente pobladas, y por otra parte, el desarrollo tecnológico que permite disponer de técnicas de construcción abaratando costos de inversión y de interferencia (por ejemplo, el excavamiento subterráneo o soterramiento de obras hidráulicas). No obstante, este análisis no se justificará en este tipo de proyecto si no se esperan cambios considerables hacia el alza en los beneficios potenciales del proyecto.

VIII. Análisis de riesgo

El modelo de evaluación presentado tiene carácter determinista; es decir, las variables toman valores únicos conocidos con certeza una vez que se han establecido las condiciones y los parámetros de la obra y el volumen de demanda a atender. Sin embargo, existe un conjunto de factores que hacen que el *VANS ex ante* no coincida con el *VANS ex post*; entre ellos, la falta de predictibilidad sobre el comportamiento de variables exógenas y endógenas. De esta forma, dado que cada una de estas fuentes de incertidumbre tiene un impacto diferente sobre los valores finales del VANS, resulta necesario seguir un proceso riguroso de modelización de la incertidumbre y análisis del riesgo, que permita centrar los esfuerzos de análisis en aquellos elementos cuyo efecto relativo es mayor.

A efectos del análisis de riesgo, se define a la incertidumbre como la existencia de varios resultados posibles asociados a un mismo proyecto y cuya ocurrencia depende de diferentes circunstancias. Por ello, dado que no existirá certeza perfecta sobre los flujos de cada período el VANS será también una variable aleatoria, siendo menor su utilidad predictiva.

La incertidumbre, en un sentido estricto, implica la ocurrencia de contingencias diferentes que afectan al flujo de beneficios y costos; por ejemplo los precios de los productos agrícolas transables externamente o los rendimientos productivos de los cultivos. En este sentido, la incertidumbre puede ser específica del proyecto o externa. También suele incluirse dentro del análisis de incertidumbre, el valor social del capital o las elasticidades precio de la demanda.

Además de los factores exógenos, los factores humanos pueden hacer que un proyecto no se ajuste a lo esperado: errores de predicción de demanda, en el diseño de la obra o en la confección del presupuesto pueden inducir a la recomendación de proyectos no rentables (y viceversa).

La modelización del comportamiento aleatorio del proyecto debe realizarse con el objetivo de obtener el máximo beneficio de la información disponible, mediante la utilización de todos los valores que razonablemente se espera que tomen las variables relevantes así como sus respectivas probabilidades de ocurrencia.¡

c. Modelación de la incertidumbre

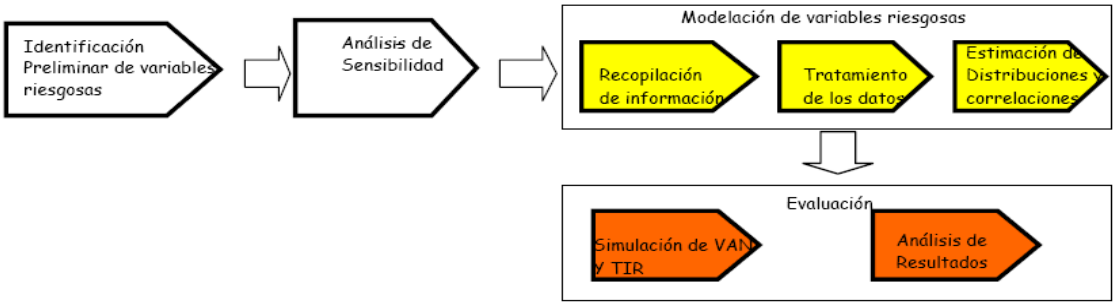
Las principales etapas en un proceso formal de modelización de la incertidumbre y análisis del riesgo de un proyecto de inversión son las siguientes[17]:

1. Planteamiento formal del proyecto.
2. Selección de las variables de riesgo y análisis de sensibilidad.
3. Modelización de las distribuciones de probabilidad.
4. Simulación de posibles resultados del proyecto.

La Figura N°1.4 resume un procedimiento simplificado para incorporar la incertidumbre en la evaluación socio-económica de proyectos hidráulicos.

Figura N°1.4

Diagrama de flujo del procedimiento de evaluación bajo incertidumbre



Fuente: En base a "Estudio Análisis para el Mejoramiento del Proceso de Evaluación de Proyectos de Riego" (Universidad de Chile, 2007) para la Dirección de Obras Hidráulicas del Ministerio de Obras Públicas.

[17] Manual de evaluación económica de proyectos de transporte (2006). Interamerican Development Bank.

Con independencia del enfoque de evaluación económica, debe estimarse un ***modelo simplificando la realidad***, a partir de las relaciones fundamentales existentes entre las variables, con el fin de predecir los flujos de beneficios y costos y poder estimar el VANS.

Los principales factores que introducen que incertidumbre en la evaluación económica de los proyectos, no excluyentes entre sí, corresponden a: i) costos de inversión o explotación (por ejemplo retrasos que afecten a la duración de las obras y/o desviaciones no previstas de costos); ii) beneficios (por ejemplo fallas en la estimación de la elasticidad ingreso o precio de la demanda); iii) dificultades para predecir los equilibrios Con y Sin Proyecto. En el caso específico de los proyectos de riego, a las anteriores deben sumarse las fuentes de información histórica y la inexactitud, incompletitud o contradicción de la misma.

Dentro del conjunto de ***variables a modelar*** y que determinan la rentabilidad del proyecto, deben elegirse sólo aquellas con mayor probabilidad de cambio y que si lo hicieran modificarían significativamente los resultados del proyecto. Si bien las variables dependen de cada proyecto en particular, en general las siguientes variables muestran mayor sensibilidad:

- Costos de inversión del proyecto, cambios en los precios unitarios y cantidades contratadas
    - Maquinaria
    - Mano de obra
    - Materiales
    - Obras no consideradas
    - Imprevistos
    - Expropiaciones
    - Consideraciones ambientales
- Costos asociados a la ejecución temporal de las obras
    - Variabilidad en los tiempos de ejecución
    - Administración del proyecto
    - Cambios en los precios de los insumos
    - Actividades no consideradas
    - Otros: imprevistos, expropiaciones y consideraciones ambientales
- Costos asociados a la operación de la infraestructura
    - Fluviometría y pluviometría
    - Clima
    - Cambio en valor de propiedades

- Valor residual, asociado a la sedimentación y reposición de los niveles de servicio del embalse y obras hidráulicas anexas

- Beneficios
  - Precios de venta de los productos en los cuales el agua cruda es un insumo.
  - Productividad del agua cruda en cada uno de los sectores.
  - En el caso específico de los proyectos de riego, superficie bajo riego, rendimientos y estructura de los cultivos, precios de los cultivos, tasa de incorporación de tecnología y otros.
  - Valor producción minera.
  - Tasa de crecimiento de la población beneficiada por Agua Potable.
  - Velocidad de crecimiento productivo, maduración de los mercados y cambio en las variables asociadas a la urbanización (población y nivel socioeconómico, entre las principales).
  - Velocidad de crecimiento del desarrollo de nueva infraestructura de conectividad: caminos, puertos, vías férreas, otras.
  - Desarrollo de nuevos mercados (turismo, recreación y otros).

Una vez identificadas las variables con mayor incertidumbre, debe realizarse un ***análisis de sensibilidad*** que permita cuantificar el efecto de cada variable sobre la rentabilidad del proyecto. Este análisis permite al evaluador centrar la búsqueda y recopilación de información sólo a aquellas variables que tienen un efecto importante sobre la rentabilidad. Podrían excluirse, por tanto, las variables que cumplieran una de las dos condiciones siguientes: i) tienen alto impacto si cambian, pero es improbable que cambien; ii) es muy probable que cambien, pero si lo hacen su impacto no es significativo.

La ***sensibilización*** se realiza midiendo la variación porcentual de los indicadores de rentabilidad ante variaciones porcentuales en las variables analizadas, siguiendo la siguiente expresión:

$$\Delta\%VANS = \frac{VANS(+-10\%) - VANS\,Base}{VANS\,Base}$$

Donde:

Δ%VANS es el cambio porcentual en el VAN del proyecto al modificar la variable bajo análisis;

VANS (±10%) es el VANS del proyecto al modificar en un ±10% el valor de la variable;

VANS Base es el VANS del proyecto calculado "bajo certidumbre" de la variable.

Una vez calculado el cambio porcentual del VAN del proyecto se calcula la elasticidad del VAN con respecto a la variable bajo análisis:

$$Elasticida\,d(VANS, X) = \frac{\Delta\%VANS}{(\Delta X\%)}$$

Con esta información se priorizan las variables riesgosas del proyecto y se seleccionan para pasar a la etapa de recopilación de información, sólo aquellas variables que muestren un impacto significativo sobre la rentabilidad del proyecto; por ejemplo, aquellas cuya sensibilidad es mayor que 1 en valor absoluto.

Para la ***obtención de la información histórica*** de las variables seleccionadas en la etapa anterior debe recurrirse en primera instancia a fuentes de información secundaria, las que son particularmente útiles en el caso de precios de productos agrícolas para proyectos de riego. Básicamente, se recomienda recopilar datos del Instituto Nacional de Estadísticas (INE), la Oficina Nacional de Planificación Agrícola (ODEPA), la Dirección Nacional de Aduanas, la Comisión Nacional de Riego, el Ministerio de Agricultura, la Superintendencia de Servicios Sanitarios, la Superintendencia de Energía y Combustibles, el Ministerio de Minería y toda otra institución pública o privada que disponga de información relevante.

Para aquellas variables que no existe información secundaria disponible, se debe analizar la alternativa de levantar directamente esa información; es el caso por ejemplo de variables tales como costos de inversión, estructuras de cultivos, tasas de incorporación al riego y otras de diferente índole. Necesariamente, recoger esta información implica un costo adicional relativamente alto, por lo cual esta tarea debe justificarse desde el punto de vista de los beneficios potenciales que se espera obtener.

En relación al ***tratamiento de los datos***, éstos deben ser expresados en moneda de un año base (Valor año base = Valor año i * (IP año base / IP año i)). Dependiendo de la variable que se quiera actualizar, podrá utilizarse el índice de precios al consumidor (IPC) o índice de precios al por mayor (IPM).

El segundo paso consiste en analizar la consistencia de los datos, dado que es frecuente observar series históricas con errores de consistencia en los datos; ello requiere revisar los datos históricos para detectar valores omitidos o valores que difieran sustantivamente de los restantes. En general, se sugiere eliminar aquellos registros que se alejen notariamente de las tendencias y/o que reflejen errores en el mecanismo de captura o registro de la información histórica (el análisis gráfico permite también identificar los cambios estructurales, que se identifican por una discontinuidad en la serie) [18].

La elección del rango y del tipo de ***función de distribución de probabilidad*** es un ejercicio de predicción basado en datos del pasado y en las expectativas futuras de comportamiento de la variable. Cuando no se dispone de una función que permita calcular directamente el valor de una variable dependiente Y en función de otra independiente X, sino que la información está distribuida de forma discreta, se hace necesario emplear métodos de interpolación que permitan obtener una aproximación en cualquier punto del dominio. Entre los posibles métodos de interpolación se sugieren la lineal, la exponencial y la logarítmica. Si no existen suficientes datos históricos para alguna variable (en general no debe usarse menos de 10 años considerando series mensuales), se recomienda suponer una distribución triangular, con valores medio, máximo y mínimo obtenidos de datos históricos.

[18] En el Apéndice A se exponen mayores consideraciones relacionadas a este tema. Los cambios estructurales pueden estar provocados, por ejemplo, por cambios en las políticas regulatorias, de tipo de cambio, tributarias o de intervenciones en los precios de mercado por parte del Estado (fijaciones de precios máximos o mínimos o bandas de precios).

En el caso de los proyectos de riego, para ***modelar precios de comodities*** se supone que los precios siguen un *Proceso de Wiener* generalizado (tiene un desvío constante μ y una varianza constante σ2). Ello supone que el drift y la varianza son una proporción del precio S y puede mostrarse el modelo de comportamiento, conocido como Movimiento Browniano Geométrico, a través de la siguiente ecuación diferencial estocástica:

$$\frac{ds(t)}{dt} = \mu[(t, S(t)]dt + \sigma[t, S(t)]dWt$$

Para la simulación de precios con este tipo de modelo, se utiliza la ecuación:

$$LnST = \left[LnS + (\mu - \frac{\sigma 2}{2})T + \sigma\sqrt{T}\xi \right]$$

Donde:

ξ ε N(0,1)

En el caso de la evaluación de un proyecto, el período mínimo de tiempo es un año, por lo tanto cada salto de tiempo es de valor 1, motivo por el cual el término √ T se transforma en uno. Los movimientos brownianos tienden a alejarse de sus valores iniciales, lo cual es apropiado para algunas variables como los precios de los activos especulativos pero, en otros casos, aunque los valores de corto plazo se muevan aleatoriamente, en el largo plazo tienden a ajustarse hacia promedios históricos o a precios de equilibrio (ver Apéndice A).

Para ***otras variables*** es posible utilizar algún software comercial que permita determinar la curva de distribución de probabilidades que mejor ajusta a una serie histórica en particular. Una vez analizadas distintas funciones de distribución, se debe seleccionar la que presenta un mejor ajuste a los datos históricos. Para series de datos discretos – como es el caso de las series históricas – se debe utilizar el estadígrafo Chi Cuadrado para determinar la bondad del ajuste. Este estadígrafo mide cuán bien se ajusta la distribución a los datos ingresados y cuán confiado se puede estar de que los datos fueron generados a partir de esa función de distribución. En todo caso, cualquier ajuste que se realice no puede construirse con menos de 5 datos históricos, y se recomienda trabajar con a lo menos 10. Se debe tener presente que mientras menor es el valor de este estadígrafo, mejor es el ajuste que presenta la función de distribución. (Ver Apéndice A)

En ocasiones puede ser necesario que el analista defina el rango de la función de distribución. Este puede ser el caso cuando la función de distribución tiene un límite finito y conocido. Por ejemplo, en el caso de los precios, se sabe que el valor de esta variable no puede adoptar un valor inferior que cero.

Una vez determinadas las funciones de distribución de las variables, se incorpora esta información en el flujo de caja del proyecto, lo que permite generar una ***función de distribución para el VANS*** del proyecto. La forma más habitual de tratar la incertidumbre en la evaluación económica consiste en utilizar programas de simulación en los que los cálculos del modelo especificado para hallar el VANS se ejecutan un número muy elevado de veces, tomando en cada una de las iteraciones el valor fijo de las variables deterministas y eligiendo para las variables de riesgo, de manera aleatoria, un valor de acuerdo con su distribución de probabilidad[19].

[19] Ello puede hacerse mediante una simulación, la que pueden ejecutar con apoyo de softwares especializados tales como Crystallball, @Risk, o con macros sobre Excel.

Por ejemplo, si el resultado de un proyecto depende de su demanda, alta (igual a 120) o baja (80) y la información disponible indica que ambas contingencias son igual de probables, el beneficio bruto es:

$$\frac{1}{2}120 + \frac{1}{2}80 = 100.$$

Si para obtener estos beneficios esperados hay que invertir 90 y el que toma la decisión es neutral al riesgo, el VANS esperado del proyecto es igual a:

$$E(VANS) = -90 + \frac{1}{2}120 + \frac{1}{2}80 = 10 > 0.$$

De acuerdo con este resultado, el proyecto debería realizarse. Sin embargo, en promedio la mayoría de los individuos consideraría este proyecto "arriesgado", ya que una vez invertido el dinero, la demanda sería alta o baja con igual probabilidad y por tanto que el beneficio fuese positivo (beneficios de 30) o negativo (pérdidas de 10) sería idéntico a obtener cara o cruz tras lanzar una moneda al aire.

Algunos inversores, adversos al riego, no invertirían en un proyecto como éste y al rechazarlo estarían revelando que la equivalencia en términos ciertos de los beneficios brutos probables no es el valor esperado sino una cifra inferior (a 90 en este ejemplo). Reducir el valor de los beneficios esperados hasta que equivalgan a una cifra de beneficios ciertos es similar a añadir una prima de riesgo a la tasa de descuento.

En la práctica, los resultados probables no suelen ser los extremos, sino todos los valores posibles entre 80 y 120, con lo que aunque el valor esperado sigue siendo 10, se dispone de un conjunto de valores con sus respectivas probabilidades y que son de utilidad para la toma de decisiones. Por ejemplo, si se supone que los valores de la demanda variarán con igual probabilidad entre 80 y 120, puede utilizarse una distribución uniforme (que asigna la misma probabilidad 1/41 a cada valor esperado). Cualquier programa informático de análisis de riesgo permite realizar en poco tiempo un número alto de extracciones, eligiendo en cada un valor aleatorio de la demanda entre 80 y 120 de acuerdo con la distribución uniforme especificada. Esto hace que la demanda en nuestro modelo de evaluación sea una variable aleatoria en lugar de una determinista y, consiguientemente, el VANS no será tampoco determinista, sino aleatorio, con su propia distribución de probabilidad.

Una vez que el programa informático ha realizado un número suficientemente alto de iteraciones, los resultados obtenidos pueden mostrarse como una función de distribución de probabilidad, que permite calcular la probabilidad asociada a que el VANS del proyecto se sitúe por encima o por debajo de un determinado valor, o dentro de un intervalo de valores posibles.

Obviamente, el riesgo del proyecto es exactamente el mismo con el análisis simple de valores esperados, que con un test de sensibilidad, con la utilización de escenarios o con simulaciones de Montecarlo; sin embargo, el riesgo de tomar una decisión equivocada disminuye tras un análisis de riesgo adecuado. Asimismo, cuando la decisión se refiere a elegir qué proyecto de inversión debe realizarse, ésta debe formularse teniendo en cuenta si existen o no otros proyectos alternativos.

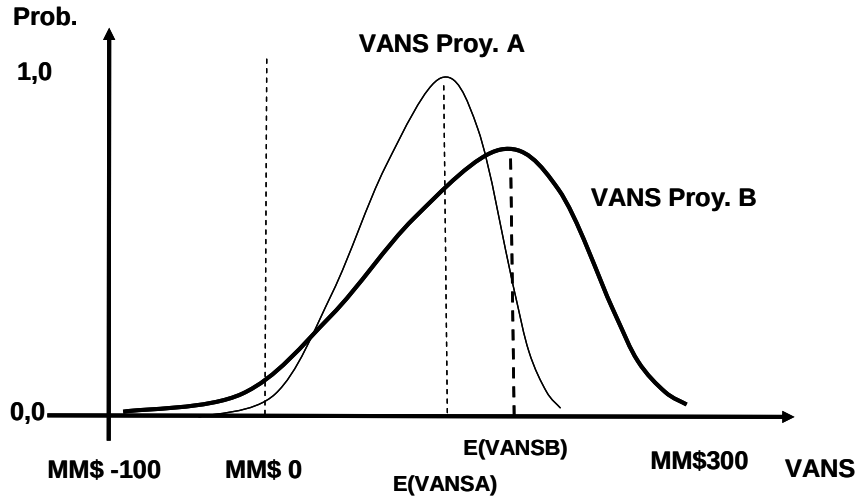
d. Criterios de decisión en condiciones de incertidumbre

Cuando la selección depende del riesgo y del resultado financiero y debe decidirse entre los proyectos A y B con distribuciones de probabilidad acumulada que se cortan, la elección también dependerá del VANS de ambos proyectos y del riesgo asociado a los mismos: si el VANS es positivo en ambos casos, debe elegirse el que tenga un VANS esperado mayor, a menos que la mayor variabilidad del proyecto aconseje decantarse por un proyecto de menor VANS pero de menor riesgo. Por ejemplo, en el caso representado en la Figura N°1.5, la elección del proyecto de mayor VANS

esperado (B) tiene asociado un mayor riesgo que el proyecto de menor VANS esperado (A). Si el decisor es neutral al riesgo, la elección del proyecto B (mayor valor esperado pero mayor variabilidad) es el criterio de decisión, pero si la autoridad no desea asumir la mayor probabilidad de obtener un VANS negativo en B, habría que examinar con más detenimiento la naturaleza del riesgo de estos proyectos.

Figura N°1.5

Distribución de frecuencia de los resultados del VANS mediante Crystalball



Fuente: Elaboración propia en base a "Manual de evaluación económica de proyectos de transporte (2006)". Interamerican Development Bank.

Un indicador adicional de utilidad es el Value at Risk (VaR) o pérdida máxima en que se espera incurrir con un determinado grado de confianza y en un intervalo de tiempo dado. Por ejemplo si el VANS esperado de un proyecto es $302.574.448 y del análisis de probabilidad se obtiene que en un 95% de los casos éste será al menos igual a $185.671.450, el VaR o pérdida máxima será de $116.902.998 con un 5% de probabilidad en los ñ años de vida útil del proyecto[20]. Otros indicadores se presentan en el Apéndice A.

IX. Evaluación ex post del Proyecto

La evaluación ex post de proyectos es una herramienta de suma utilidad para retroalimentar las metodologías de evaluación ex ante, al revisar los efectivos resultados obtenidos a partir de la ejecución del proyecto. Además de la identificación de beneficios y costos adicionales para retroalimentar la evaluación ex ante, la evaluación ex post permite revisar supuestos y parámetros y calibrar incluso los desarrollos metodológicos en función de los beneficios y costos efectivos.

La aplicación de evaluaciones ex post suele revestir amplia complejidad por la carencia de datos y antecedentes viables que permitan realizar el análisis. Por ello y sólo a modo general, se desarrolla una propuesta de lineamientos generales para el

[20] Este análisis supone que el VANS medio corresponde a la situación base; pero si esta corresponde a la situación sin proyecto, donde VANS igual a 0, el VaR sería cero.

establecimiento de una línea de base que al menos permita, en el mediano y largo plazo, medir beneficios y costos ex post desde los ámbitos social y productivo en proyectos de embalses y obras hidráulicas anexas. Los lineamientos se desarrollan en el Apéndice C.

X. Consideraciones finales

El presente documento resume los principales aspectos relacionados a la formulación y evaluación social de proyectos hidráulicos multipropósito y constituye una actualización de la metodología de formulación y evaluación de proyectos de riego de MIDEPLAN.

La evaluación o valoración de los beneficios y costos de un proyecto implica la realización de dos etapas consecutivas: primero, la evaluación a precios privados de los beneficios y costos y luego, la evaluación social. El objetivo de ésta es disponer de una herramienta adicional para la toma de decisiones, no constituyendo la decisión en sí misma. La importancia y relevancia del instrumento dependerá de las preferencias de la sociedad en términos de la rentabilidad esperada de la inversión pública.

En general las políticas de manejo del agua de recursos hídricos tienen amplios efectos, no sólo sobre el desarrollo económico y social; en particular, el proceso de decisión requiere la comparación de beneficios y costos y la asignación del agua embalsada entre los usos competitivos, analizando el sistema multipropósito en su conjunto.

La aplicación del *análisis beneficio costo* en evaluación social de proyectos exige desarrollar experiencia para distinguir el ámbito de estudio de una inversión y las fronteras que existen entre las situaciones SP y CP, con el propósito de "medir mejor" los resultados. En este sentido, un desafío importante es avanzar en el desarrollo de evaluaciones ex - post del desempeño de los proyectos y constituir un mecanismo de recolección de buenas prácticas.

Si se espera maximizar la utilidad social, deberían ejecutarse sólo aquellos proyectos cuyo VANS es máximo; en cambio, si se pretende maximizar la ejecución presupuestaria, manteniendo un criterio de eficiencia en la asignación de los recursos, deberían ejecutarse los proyectos con VANS positivo (o TIRS mayor a la tasa social de descuento). Asimismo, se sugiere la incorporación de modelación matemática y el desarrollo de instrumental computacional para permitir la evaluación integral de proyectos de embalses multipropósito, incorporando el análisis de riesgo como herramienta para la toma de decisiones en condiciones de incertidumbre al permitir disponer de un conjunto más amplio de indicadores para establecer la conveniencia de ejecutar uno u otro proyecto.

Será decisión de la autoridad el camino a seguir, dado que aunque indudablemente la evaluación contribuye a la toma de decisiones mejor informadas, puede que no sea capaz de reflejar, en términos monetarios, todos los beneficios y costos del proyecto,

ni sus impactos sociales. Por lo expuesto, el proceso de elaboración metodológico debe continuar a partir de un proceso más amplio y profundo de análisis.

APÉNDICE A

GUIA GENERAL DE PROCEDIMIENTOS PARA LA APLICACIÓN DE ANÁLISIS DE RIESGO

A continuación se presenta un guía general para aplicación del análisis de riesgo.

I. Propuesta de soluciones para corrección de la información disponible

Para el caso de outliers[21] que no tengan razones fundamentales de respaldo, se propone eliminarlos, ya que de no existir razones, lo más probable es que se trate de errores de registro que distorsionarán las estimaciones de distribuciones de probabilidad. Para el caso de datos omitidos, si se sabe que esos datos debieron haber existido y que por ende se trata de un problema de no registro, se propone completar la serie de datos buscando correlaciones entre el dato bajo análisis y otra variable cuya serie sí incluya datos en los periodos en que se generan las o misiones (por ejemplo si se requiere conocer el precio de un producto de exportación en un determinado momento del tiempo, es posible utilizar para ello la correlación que existe entre el precio de exportación y el precio del producto destinado al mercado interno). Para el caso de cambios estructurales, deben identificarse los períodos en los que se generan discontinuidades o "saltos", para considerar ese evento en la estimación de las distribuciones de probabilidad (si las distribuciones obtenidas antes y después del quiebre son iguales no habría problemas; sin embargo, en caso de resultar distintas, el quiebre altera la distribución de probabilidad de los datos por lo cual debe seleccionarse la distribución obtenida al trabajar exclusivamente con datos posteriores al quiebre si existe suficiente información posterior al quiebre; o bien, obtener distribuciones pre y post quiebre y estimando razonablemente que dicho quiebre no debiese repetirse en el futuro, se propone eliminar la discontinuidad sustituyendo algunos datos previos y posteriores al "salto" por datos obtenidos mediante promedios móviles o alisamientos exponenciales; de esa forma se elimina el "salto" manteniendo continuidad en la serie de datos).

II. Método de interpolación lineal

En lo que sigue, se desarrolla el método de interpolación lineal, a fines de permitir al formulador disponer de mayores herramientas. Supóngase que se quiere estimar el valor "y" asociado al punto "x". Según el método de interpelación lineal, se supondrá que la función se comporta como una recta en el intervalo (x1 ,x2), que contiene al (o los) punto(s) requerido(s) (Figura N°A.1).

La expresión matemática de dicha recta, que permitirá calcular el valor de "y", será:

$$y = y_1 + (x - x_1) * (\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1})$$

Donde:

$\mathbf{x_1}$ y $\mathbf{x_2}$ corresponden a la última fecha no eliminada antes del "salto" y la primera fecha no eliminada después del salto, respectivamente;

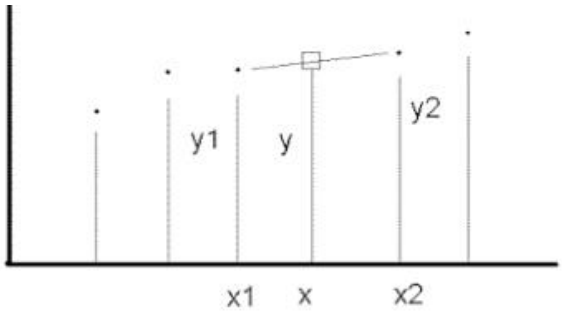
$\mathbf{y_1}$ el último valor de la serie antes del salto, en la fecha x_1;

[21] Observación que es numéricamente distinta del resto.

y_2 el primer valor de la serie después del salto, en la fecha x_2.

Figura N°A.1

Interpolación lineal



Fuente: Basefinanciera.com

III. Proceso de reversión hacia la media

Cuando una variable sigue un proceso de reversión hacia la media, puede ser representado por la siguiente ecuación diferencial estocástica:

$$dS_t = k*(m - S_t)dt + \sigma * dW_t$$

Para t = 0, 1, ….; n

Donde:

k es la velocidad de reversión a la media;

m el nivel de largo plazo al cuál revierte la variable S.

σ es la volatilidad de S;

dW representa un proceso de browniano.

Específicamente, el parámetro K debería tomar valores entre -1 y 1, donde 1 indica un ajuste instantáneo, mientras que si el parámetro tiende a cero, el ajuste será más lento22. Este parámetro se puede estimar mediante un modelo regresivo de orden uno del tipo:

$$S_t = S_{t-1} - k*(S_{t-1} - E(S)) + \varepsilon t$$

El parámetro m puede ser estimado por la media histórica de los datos de S, aunque también podrían aplicarse modelos más sofisticados.

De este modo, debe comprarse el Movimiento Browniano Geométrico con Modelos de Reversión a la Media con tendencia, de forma de analizar a cuál de estos modelos se ajusta mejor el precio comodities en estudio.

IV. Análisis de los estadígrafos

Para responder la pregunta ¿cuán bajo debe ser el valor del estadígrafo para que sea considerado un buen ajuste? es posible utilizar los siguientes indicadores: i) ***valor de probabilidad (p–value)*** representa la probabilidad de que el intervalo de confianza contenga

[22] Villalpando, L.: "Simulación de Precios del Petróleo Brent", 2007.

al verdadero valor. Mientras más cerca de cero está este indicador, menor es el nivel de confianza de que la distribución podría haber generado el set de datos original. Por el contrario, mientras más se acerque a 1, no existe base para rechazar la hipótesis de que la distribución ajustada generó realmente el set de datos original; ii) ***Valor crítico*** representa el mayor valor del estadígrafo que – dado un nivel de confianza predefinido – es posible aceptar como ajuste válido. De esta forma, se rechazan todos aquellos ajustes cuyo valor del estadígrafo Chi cuadrado es mayor que el valor crítico y se aceptan todos aquellos cuyo Chi cuadrado es menor.

V. Ejemplos

a. Ejemplo 1

Para la simulación con este tipo de modelo se toma un precio S de partida, por ejemplo en el caso de la papa un valor de precio inicial de S0 = 79.097, luego se calculan μ y σ2 a partir de los datos históricos (con el promedio de las variaciones de precios y la varianza de dichas variaciones), en el caso de la papa estos valores fueron -0.08% y 19,9%. A continuación se genera un número aleatorio para el valor de ξ según una normal (0,1). Con el procedimiento anterior se tienen todos los parámetros del modelo para calcular el siguiente precio ST (en este caso S1) como:

$$\ln S_t = \left[\ln(79907{,}5) + (-0{,}08\% - \frac{(19{,}9\%)^2}{2}) * T + 19{,}9\% \sqrt{T} \xi \right]$$

Con el primer número aleatorio generado para ξ, se obtuvo en Excel un valor de 69188,983 para S1, luego se aplica la misma ecuación para calcular S2 en función de S1, μ y σ2 y de un nuevo número aleatorio para ξ,< y así sucesivamente.

b. Ejemplo 2

La Figura N°A.2muestra una salida de una simulación de un proyecto, realizada con el software @Risk siguiendo el procedimiento antes descrito.

Figura N°A.2

Estadísticas de la simulación de un proyecto de Riego

	Resultados
Estadísticas generales	
Iteraciones	1.000
Media	5.262
Mínimo	-27.064
Máximo	88.004
Std Dev	12.105
Variance	146.537.800
Probab. VAN < 0	35,79%

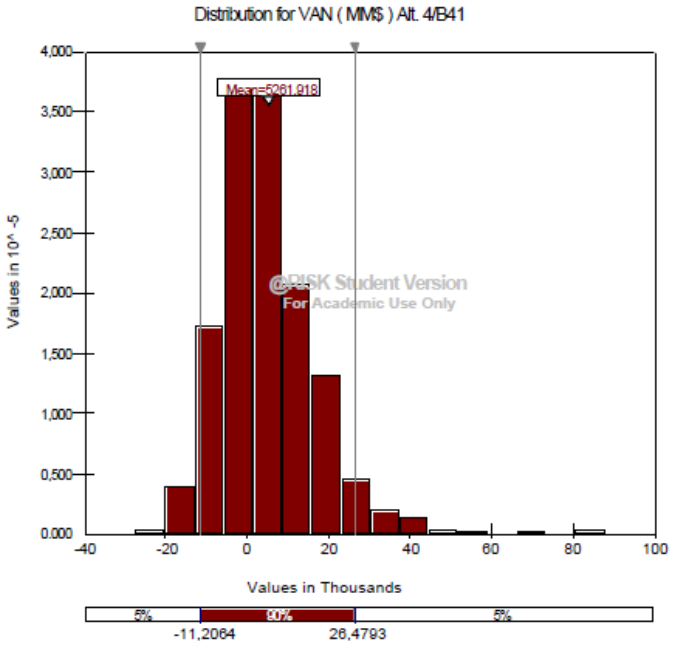
Fuente: Elaboración propia en base a "Estudio Análisis para el Mejoramiento del Proceso de Evaluación de Proyectos de Riego". Julio de 2007.

c. Ejemplo 3

Según estos resultados, el valor medio del VAN es de $5.262 millones y la probabilidad de que el proyecto sea no rentable es de un 35,79%. El histograma que representa gráficamente los resultados anteriores se presenta a continuación:

Figura N°A.3

Histograma de la simulación con @Risk de un proyecto de Riego



Fuente: Elaboración propia en base a "Estudio Análisis para el Mejoramiento del Proceso de Evaluación de Proyectos de Riego". Julio de 2007.

d. Ejemplo 4

El software de análisis de riesgo @Risk permite realizar este análisis para las siguientes funciones de distribución (Cuadro N°A.4)

Cuadro N°A.4

Análisis para las siguientes funciones de distribución

Funciones de Distribución		
Beta General	Pareto	Binomial
Chi-Square	Pearson V	Error Function
Erlang	Poisson	Exponential
Extreme Value	Student's t	Gamma
Geometric	Uniform	Hypergeometric
Inverse Gaussian	Pareto2	IntUniform
Logistic	Pearson VI	Log-Logistic
Lognormal	Rayleigh	Lognormal2
Negative	Triangular	Normal
	Weibull	

Fuente: Elaboración propia en base a "Estudio Análisis para el Mejoramiento del Proceso de Evaluación de Proyectos de Riego". Julio de 2007.

APÉNDICE B

EFECTOS INDIRECTOS, SECUNDARIOS Y EXTERNALIDADES

I. Infraestructura vial

En proyectos hidráulicos de gran envergadura, en el costo de las obras civiles generalmente se incluye la construcción de un nuevo camino, modificaciones o mejoramientos de caminos ya existentes. En los casos en que la infraestructura también perjudique o favorezca a terceros no incluidos en el proyecto existe una externalidad asociada al proyecto, ya que aquellos afectados ven modificados sus costos generalizados de viajes. Dependiendo la naturaleza de los impactos del proyecto sobre la infraestructura vial, este efecto podrá considerarse secundario o bien una externalidad.

II. Asentamiento Humano

Este efecto se produce por la población que se instala debido al proyecto o por aquella que no emigra debido a que el proyecto genera nuevas fuentes de empleo en el lugar de su emplazamiento (aumento de la actividad económica). Los nuevos empleos corresponden a un costo directo (primario) ya contemplados entre los costos del proyecto y el beneficio de una menor cesantía está expresado en una corrección del costo privado de contratar mano de obra por un factor de ajuste a valor social menor a uno.

La mayor actividad económica producto del proyecto, afecta a diversos mercados muchos de los cuales son proveedores del proyecto y por tanto ya han sido considerados entre los costos del mismo. En la medida en que en cada una de las actividades no existan distorsiones o no se afecten los precios, no existirían efectos económicos reales.

III. Nivel freático

En el caso de las obras hidráulicas como embalses y canales se puede producir un efecto positivo de recarga del nivel freático actual dependiendo de las condiciones de la napa aguas abajo y del impacto de la obra de regadío y del riego mismo sobre dicha napa. Aguas arriba del embalse, el nivel freático de los terrenos puede ser modificado y traer consecuencias en la vegetación circundante, la capacidad de erosión del lecho del río o los caudales medios vertidos y, consecuentemente, afectar la factibilidad para que actividades antrópicas ocupen parte del lecho mayor del río.

Si el efecto es positivo, el proyecto estaría produciendo más agua destinada a no usuarios del proyecto (terceros que se ven afectados positivamente por la ejecución del proyecto), es decir, correspondería a una externalidad positiva del proyecto. Si el efecto es negativo, el proyecto estaría generando niveles de napa más profundos, afectando negativamente a la producción de los regantes aguas abajo, los que pueden ser o no usuarios del proyecto.

IV. Efecto en pequeños agricultores

En el caso de los proyectos que proveen agua para riego, el aumento en la seguridad de riego puede inducir una mayor incorporación de tecnificación de riego, aumentado aún más los rendimientos agrícolas, especialmente en el caso de las grandes empresas agrícolas y agricultores con capacidad empresarial. El mayor desarrollo en el área de influencia del proyecto puede lograr que los pequeños agricultores que practican una agricultura tradicional

tiendan a seguir las pautas de las grandes empresas citadas, intentando alcanzar una mayor tecnificación del riego e introduciendo otro tipo de productos.

Si es que el proyecto no consideró que el pequeño agricultor tendría beneficios, este "efecto demostración" se constituye en una externalidad del proyecto, cuyo beneficio no puede exceder el costo que hubiese significado incluir explícitamente en el proyecto una asistencia técnica y transferencia tecnológica a ese estrato de agricultores. No obstante, lo usual es incorporar este beneficio a través de medidas tales como la capacitación y los programas de fomento a la pequeña y mediana agricultura.

V. Efectos medio-ambientales

Las obras de infraestructura hidráulica implican significativos movimientos de tierra, rocas y materiales de diverso tipo y el uso, en muchas ocasiones, de maquinaria pesada. Todo ello origina contaminación de tres tipos: i) contaminación del aire por levantamiento de polvo; ii) contaminación sonora por el ruido causado por la ejecución de las obras y uso de maquinaria pesada y ruidosa; iii) contaminación visual por la alteración del paisaje natural y su reemplazo por obras físicas de enrocados, gaviones y otras.

Asimismo, las represas pueden crear una *industria de pesca*, y facilitar la producción agrícola en el área, aguas abajo del reservorio, no obstante, debido a los cambios en el caudal o temperatura del río, la degradación de la calidad del agua, la pérdida de los sitios de desove y las barreras que impiden la migración de los peces pueden afectarse los recursos productivos asociados a la pesca.

Las variaciones en el caudal de agua dulce, y por tanto, en la salinidad del estero, pueden cambiar la distribución de las especies y los modelos de reproducción de los peces. Las variaciones en la cantidad de alimentos y la calidad del agua del río, pueden tener efectos profundos para la productividad del estero.

El mayor *impacto para la fauna* se originará en la pérdida de hábitat, que ocurre al llenar el reservorio y producirse los cambios en el uso del terreno de la cuenca. Pueden afectar los modelos de migración de la fauna, debido al reservorio y el desarrollo que se relaciona con éste.

Las *actividades mineras* comprenden diversas etapas, cada una de las cuales conlleva impactos ambientales particulares. En un sentido amplio, estas etapas serían: prospección y exploración de yacimientos, desarrollo y preparación de las minas, explotación de las minas, tratamiento de los minerales obtenidos en instalaciones respectivas con el objetivo de obtener productos comercializables.

En la fase de exploración, algunas de las actividades con impacto ambiental son la preparación de los caminos de acceso, mapeos topográficos y geológicos, el montaje de campamentos e instalaciones auxiliares, trabajos geofísicos, investigaciones hidrogeológicas, aperturas de zanjas y pozos de reconocimiento, tomas de muestras.

La deforestación no solo afecta el hábitat de cientos de especies endémicas (muchas llevadas a la extinción), sino el mantenimiento de un flujo constante de agua desde los bosques hacia los demás ecosistemas y centros urbanos. La deforestación de los bosques primarios causa una rápida y fluida escorrentía de las aguas provenientes de las lluvias, agravando las crecidas en los periodos de lluvia debido a que el suelo no puede contener el agua como lo hace en presencia de las masas boscosas.

La *contaminación del aire* puede producirse por el polvo que genera la actividad minera. Por otro lado, suele haber emanaciones de gases y vapores tóxicos, producción de dióxido de azufre por el tratamiento de los metales y de dióxido de carbono y metano por la quema de combustibles fósiles y la creación de lagos artificiales detrás de los embalses hidroeléctricos destinados a proporcionar energía para los hornos de fundición y las refinerías.

VI. Deterioro de otros valores de uso

Es el caso de: i) alteración de la cobertura vegetal por instalación de actividades en zonas con abundante vegetación natural; ii) modificación de aptitud de suelos por uso de terrenos con aptitud productiva en las actividades de construcción del proyecto; iii) alteración del hábitat de fauna terrestre y acuática; iv) alteración de sitios arqueológicos por la acción de maquinarias y trabajadores.

VII. Alteraciones de la biodiversidad

La biodiversidad representa un valor para la sociedad y su pérdida puede representar un costo social neto que debe valorarse. El solo hecho de alterar la biodiversidad, si no tiene un efecto reparador de obras humanas anteriores, puede considerarse negativo en sí mismo, aun cuando su costo sea difícil de medir.

Al represar un río y crear una laguna, se cambia profundamente la *hidrología y limología* del sistema fluvial. Se producen cambios drásticos en el flujo, la calidad, cantidad y uso del agua, los organismos bióticos y la sedimentación de la cuenca del río. La descomposición de la materia orgánica en las tierras inundadas enriquece los alimentos del reservorio. Los fertilizantes empleados aguas arriba se suman a los alimentos que se acumulan y se reciclan en el reservorio. Esto soporta no solamente la pesca, sino también el crecimiento de las hierbas acuáticas.

Si el terreno inundado tiene árboles y no se limpia adecuadamente antes de inundarlo, la descomposición de esta vegetación agotará los niveles de oxígeno en el agua. Esto afecta la vida acuática, y puede causar pérdidas en la masa de peces. Los productos de la descomposición anaeróbica incluyen el sulfuro de hidrógeno, que es nocivo para los organismos acuáticos y corroe las turbinas de la represa, y el metano, que es un gas de invernadero.

Las *partículas suspendidas que trae el río* se asientan en el reservorio, limitando su capacidad de almacenamiento y su vida útil. Muchas áreas agrícolas de los terrenos aluviales han dependido de los limos ricos en alimentos para sostener su productividad. Como el sedimento ya no se deposita aguas abajo, esta pérdida de alimentos deberá ser compensada mediante insumos de fertilizantes para mantener la productividad agrícola. La liberación de las aguas libres de sedimentos, relativamente, puede lavar los lechos, aguas abajo. Sin embargo, la sedimentación del reservorio produce agua de más alta calidad para riego, y consumo industrial y humano.

Los efectos adicionales de los cambios en la hidrología de la cuenca del río, deben incluir los *problemas de salinización* que tienen impactos ambientales directos y afectan a los usuarios aguas abajo.

VIII. Amenaza Sísmica

Los reservorios grandes pueden alterar la actividad tectónica. La probabilidad de que produzca actividad sísmica es difícil de predecir; sin embargo, se deberá considerar el

potencial destructivo de los terremotos, que pueden causar desprendimientos, daños a la infraestructura de la represa, y la posible falla de la misma.

IX. Costos inter-temporales de consumir hoy versus hacerlo en el futuro (implicancias intergeneracionales)

Los *valores de uso* se relacionan con la satisfacción que el individuo percibe por consumir directamente un bien; en tal sentido, aún no siendo consumidor directo del bien, es posible obtener satisfacción del mismo tanto por tener la opción de consumirlo en el futuro (valor de opción) o por desear que generaciones futuras mantengan la posibilidad de usarlo (valor de legado), o bien porque simplemente se valora su existencia (valor de existencia). El valor de (cuasi) opción surge cuando existe incertidumbre sobre la irreversibilidad de la decisión, por lo cual la protección del recurso puede justificarse por la relevancia del valor de opción implícito intertemporal.

En otro sentido, algunos autores[23] estiman que las personas perciben utilidad de determinado bienes aún cuando no los consuman. Por ejemplo, los gustos, motivaciones o preferencias hacen que las personas tengan disponibilidad a pagar por bienes aún cuando ni siquiera valoren la opción de uso en un futuro. Aún cuando este tipo de demandas sobre bienes ambientales, en términos de la intertemporalidad del consumo, no se reflejan en los precios de mercado, deben de ser tenidas en cuenta en el análisis costo-beneficio.

[23] Diamond, Peter A. y Jerry A. Hausman, "Contingent Valuation: Is Some Number Better than No Number?", Journal of Economic Perspectives. Fall 1994.

APÉNDICE C

LINEAMIENTOS GENERALES PARA EL LEVANTAMIENTO DE LÍNEA DE BASE

La línea de base es un instrumento para la adecuada formulación de la estrategia de intervención y posteriormente, para la realización de las evaluaciones correspondientes. Conceptualmente, es un instrumento metodológico que permite establecer la situación inicial de la unidad de estudio en los ámbitos y variables de intervención que interesan. Constituye parte del diagnóstico y permite identificar la brecha entre la situación inicial y los resultados mínimos esperados de la intervención y es la base para la modelación de la situación actual que da origen a la intervención para el logro de la situación deseada o esperada. Asimismo, es el parámetro sobre el cual se medirán los efectos o cambios en las variables seleccionadas para realizar la evaluación y para ello debe identificar claramente las dimensiones a considerar, los indicadores susceptibles de construir ellos, determinar las fuentes de información y establecer los medios de verificación de cumplimiento.

En relación a las evaluaciones ex post y de impacto, permite al investigador observar la incidencia y distribución de las variables que son consideradas pertinentes a incluir. No disponer de la línea base no permite estimar con certeza si la intervención realizada ha generado impactos en la población objetivo, permitiendo a la vez al investigador conocer la magnitud del mismo.

I. Propuesta de indicadores: enfoques

La línea de base debe ser los suficientemente comprehensiva, como para permitir futuras evaluaciones ex post y de impacto lo más completas posibles. En este sentido, se recomienda aplicar dos enfoques complementarios: i) ***enfoque productivo***: establece indicadores a partir de las actividades productivas (relacionadas a los usos del agua) en el área de análisis. Para ello, considerar los supuestos y rentabilidad de los predios según MP; supuestos y precios de la tierra según MVIT; supuestos y precios del agua según MA; ii) ***Enfoque socio-económico***: establecer indicadores a partir de variables tales como demografía, pobreza, ingresos de la población, empleo, nivel educacional, salud, vivienda y habitabilidad. En Chile, la pobreza se mide a partir de la Encuesta CASEN, considerando, entre ellas, las siguientes variables: i) residentes del hogar; ii) vivienda; iii) educación; iv) salud; v) empleo e ingresos del trabajo; vi) otros ingresos.

II. Construcción del escenario contra-factual

El **Diseño Experimental** distribuye aleatoriamente la intervención entre los beneficiarios calificados, generando en este proceso de asignación grupos de tratamiento y de control comparables y estadísticamente equivalentes entre sí (suele considerarse las metodología de evaluación más sólida).

Su principal ventaja es la simplicidad de interpretación de los resultados, ya que los efectos del programa se pueden medir a través de la diferencia entre las medias de las muestras del grupo de tratamiento y el grupo de control. Sin embargo, la aleatorización de los participantes puede resultar poco ética y políticamente incorrecta. Además, el mismo diseño del programa o proyecto puede imponer la inexistencia de grupo de comparación, como en el caso de los programas de cobertura completa. También, durante la ejecución del programa o proyecto los individuos pueden modificar algunas características que los identifican, contaminando los resultados.

El **Diseño Cuasi – Experimental** se utiliza cuando no es posible crear grupos de tratamiento y control a través de un diseño experimental (es no aleatorio). Por ello genera grupos de comparación que se asemejan al grupo de tratamiento al menos en las características observadas y aplica diferentes técnicas econométricas (comparación pareada, doble diferencia, variables instrumentales y comparaciones reflexivas) para estimar beneficios netos del programa o proyecto. Su ventaja principal es la utilización de datos existentes y por tanto pueden resultar menos costosos de implementar. Las desventajas tienen que ver con la menor confiabilidad de los resultados (dado que la metodología es menos sólida desde el punto de vista estadístico) y con la presencia del sesgo de selección.

El **Diseño No Experimental** se utiliza cuando no es posible seleccionar un grupo de control al azar o bien cuando no es posible identificar un grupo de comparación a través de las técnicas de las coincidencias o las comparaciones reflexivas. La confiabilidad de los resultados es generalmente disminuida debido a la menor solidez estadística de la metodología. Además, presenta complejidades estadísticas que exigen experiencia en el diseño de evaluación y análisis e interpretación de los resultados.

Utiliza diferentes técnicas econométricas: las Variables Instrumentales, los Modelos de Equilibrio General Calculable, las Comparaciones entre Países o Regiones y los Métodos de Control Estadístico. El *Sesgo de Selección* se observa cuando los participantes del programa difieren de los no participantes en características que el evaluador no puede observar y que afectan la decisión de participar en el programa y los resultados (Por ejemplo, los participantes pueden ser individuos que obtengan importantes beneficios del programa y por ello se encuentran muy motivados para participar de él. Lo mismo puede ocurrir pero en forma inversa). El *Sesgo Observable* podría incluir los criterios de selección mediante los cuales se elige un individuo por ubicación geográfica, asistencia a escuela o participación en el mercado laboral. Los *Sesgos No Observables* se refieren a capacidad individual, disposición al trabajo, vínculos familiares y el proceso subjetivo de selección de individuos.

La **Asignación Aleatoria** no elimina el sesgo de selección, pero lo equilibra entre las muestras de participantes y no participantes, por lo que se compensa al calcular la estimación de impacto medio.

La **Comparación Pareada** consiste en seleccionar a un conjunto de no participantes que en sus características esenciales sean comparables a los participantes. Ello se efectúa sobre la base de determinadas características seleccionadas estadísticamente.

El **Método de las Dobles Diferencias o Diferencias en Diferencias** compara los grupos de tratamiento y comparación antes (primera diferencia) y después de la intervención (segunda diferencia).

En las **Comparaciones Reflexivas** el modelo contrafactual se estructura sobre la base de la situación de los participantes del programa antes de la intervención. De este modo, los participantes son comparados con si mismos antes y después de la implementación del programa, constituyendo a la vez el grupo de tratamiento y de comparación. Este tipo de técnica es especialmente útil en evaluaciones de intervención integral. Su gran desventaja es que la situación de los participantes antes y después del programa puede modificarse en función de otras variables, por lo cual debe realizarse una cuidadosa identificación de las relaciones causales, a fin de identificar los factores externos que afecten los resultados.

Las **Variables Instrumentales** comprenden la identificación de variables que inciden en la participación en el programa, pero no en los resultados, dada la participación. Esto identifica la variación exógena en los resultados que es atribuible al programa.

Los **Modelos de Equilibrio General Calculable** intentan comparar los resultados en las situaciones observadas y contrafactual empleando simulaciones informáticas.

Las **Comparaciones entre Países o Regiones** representan el comportamiento de variables básicas en una muestra de regiones en los que se ha aplicado el programa, en relación al comportamiento de las mismas en los países en los cuales no se ha aplicado.

Los **Métodos de Control Estadístico** corresponden a regresiones que controlan las diferencias en las condiciones iniciales y en las políticas adoptadas en países o regiones en las que se ha implementado el programa.

III. Métodos de recolección de información

En las evaluaciones de impacto, es ideal que la información se recoja al menos antes y después de la intervención. Para ello, es usual el uso de diferentes métodos para la obtención de datos.

Los **Métodos Cuantitativos** dependen típicamente de instrumentos de recopilación de datos con muestras al azar y datos normalizados que entran en la categoría de respuestas predeterminadas. Asimismo, producen resultados que pueden fácilmente resumirse, comparar y analizar. Las evaluaciones que se basan en datos cuantitativos de muestras estadísticamente representativas son más adecuadas para evaluar la causalidad usando métodos econométricos o llegando a conclusiones que pueden generalizarse.

Los **Métodos Cualitativos** proporcionan valiosa información para comprender los procesos que existen detrás de los resultados observados y evalúan asimismo la percepción que tienen las personas acerca de su propio bienestar. Las principales técnicas son las entrevistas en profundidad, los métodos de observación y la revisión de documentos y los **Métodos Participativos** aseguran la consideración de las perspectivas y opiniones de las partes interesadas.

Estas herramientas permiten conocer las condiciones a nivel local y las perspectivas y prioridades de las unidades de evaluación. Pueden utilizarse durante todo el proyecto para evaluar la forma en la cual los beneficiarios perciben los beneficios del programa (en este sentido, ofrecen una respuesta sobre la efectividad del proyecto durante su implementación).

El Cuadro N°C.1 muestra las principales técnicas para evaluar los beneficiarios y costos del análisis ex post.

Cuadro N°C.1

Comparación de métodos cuantitativo y cualitativo

Aspecto	Método Cuantitativo	Método Cualitativo
Objetivos	•Para evaluar la causalidad y llegar a conclusiones que puedan ser generalizadas.	•Para entender los procesos, comportamientos y condiciones como son percibidos por grupos o individuos que se estén estudiando.
Instrumento de recopilación de datos	•Cuestionarios estructurados, formales y prediseñados.	•Entrevistas minuciosas y sin resultados previsibles. •Observación directa. •Documentos escritos (sin resultados previsibles, por ejemplo sobre cuestionarios, registros de programas y otros).
Toma de muestras	•Muestras de probabilidad.	•Muestras intencionales.
Metodología para el análisis	•Análisis con predominancia estadística.	•Triangulación (uso simultáneo de varias fuentes y de varios medios diferentes de compilación de información). •Análisis sistemático de contenido. •Cúmulo gradual de datos basados en temas seleccionados.

Fuente: Elaboración propia en base a antecedentes varios.

2 – METODOLOGÍA PARA LA ESTIMACIÓN DE BENEFICIOS POR RIEGO

Un sistema de riego es básicamente un conjunto de obras destinadas a la captura, transporte, distribución y regulación de los recursos hídricos, desde su captación hasta los puntos de entrega, con el objetivo de aumentar la disponibilidad de los recursos, regular la temporada agrícola, aumentar la rentabilidad en el uso de los recursos hídricos, incorporar nuevas tierras a la producción agrícola y mejorar los ingresos de las que en la situación sin proyecto igualmente se riegan.

Así, a través de los proyectos se persigue dar garantías a los beneficiarios respecto de los siguientes aspectos: i) que dispondrán del volumen de agua que necesitan y que esta disponibilidad será oportuna; ii) que tendrán cierto grado de seguridad en la disponibilidad de agua, es decir, se garantiza un cierto grado de fiabilidad que el agua estará disponible durante el tiempo de espera; iii) que se sabrá con anticipación al período de riego el agua que podrá ser captada.

Los proyectos relacionados con riego se definen como: i) ampliación y mejora de las infraestructuras o el sistema de riego existentes; ii) construcción de nuevas obras; iii) drenaje del potencial de las tierras agrícolas; iv) transferencia de tecnología para mejorar los sistemas de aplicación de agua y; v) cambios en los sistemas de producción que ya existen a fin de optimizar la utilización de los recursos hídricos disponibles.

Las funciones de cada una de las obras corresponden a: i) ***captación***: aquéllas que permiten extraer el recurso desde su fuente natural para luego distribuirlo al área donde se utilizará, siendo las más típicas las bocatomas y los pozos; ii) ***conducción***: permitir trasladar el agua desde la captación hasta las obras de regulación o de distribución; iii) ***distribución***: redes de canales secundarios y terciarios que llevan el agua desde un canal matriz (obra de conducción) hasta los predios; incluye marcos partidores, compuertas, cámaras y estructuras de medición del flujo de agua; iv) ***regulación***: almacenamiento del recurso hídrico durante los períodos en que no es utilizado, para ser usado cuando se produzca el déficit o para aumentar la superficie bajo riego, buscando independizar la disponibilidad del agua de los eventos climáticos. Dentro de estas categorías se incluyen los embalses de regulación anual y multianual y los tranques de regulación nocturna o de temporada.

I. Formulación de proyectos de riego

Los proyectos de riego por lo común tienen incidencia sobre la producción de una gran cantidad de productos agrícolas presentes en la zona del proyecto, así como en gran cantidad de insumos utilizados en su producción. La recopilación de antecedentes debe lograrse a través de la revisión de información bibliográfica y mediante visitas al área de estudio. Una vez recopilada la información, se debe analizar en forma crítica, con el propósito de calificar el uso que se le dará durante el desarrollo del estudio y determinar con precisión aquellos antecedentes que se requiere actualizar, complementar y en ciertos casos generar. En forma complementaria a los antecedentes que se presentan a continuación, se sugiere revisar los Apéndices D y E.

a. Estudios básicos para proyectos de riego

Para la detección de las potenciales áreas de riego es necesario efectuar un reconocimiento detallado de los ***suelos*** con el fin de determinar las reales posibilidades de producción[24]. Para ello se debe efectuar un completo recorrido en terreno con el propósito de hacer una revisión de las principales unidades cartográficas, definiéndose para cada una de ellas, las clasificaciones técnicas: clase y sub-clase de capacidad de uso, categoría y subcategoría de riego, clase de drenaje, aptitud frutal, aptitud agrícola y erosión. Esta clasificación técnica se debe llevar a cabo tanto para la situación actual como para la potencial. En el caso específico de aquellos proyectos que poseen información previa de estudios de suelos a nivel de detalle, se debe analizar dicha información a través de una inspección general en terreno. Además, el estudio debe incluir la caracterización general del área, la descripción de series de suelos, rango de variación y la ubicación geográfica. En aquellos proyectos donde se utilicen suelos sobre cota de canal, es recomendable elaborar un mapa con el uso actual de los suelos, de forma de contar con la cota piezométrica necesaria para efectuar los cálculos correspondientes a las elevaciones mecánicas.

El informe o estudio de ***clima y agroclima*** debe elaborarse en función de las fuentes de mayor actualización[25].

Para el análisis de la ***población objetivo***[26] el área de influencia debe subdividirse en sectores de riego de acuerdo a la extensión y heterogeneidad que ésta presente, de la situación actual y potencial de riego, de la información generada del estudio de suelos y clima y de la respectiva adaptabilidad de las distintas especies.

La determinación de los ***estratos de tamaño*** debe ser efectuada previa la aplicación de la encuesta y deberá representar en la forma más real posible la situación que actualmente enfrenta la zona. La estratificación debe realizarse esencialmente en base

---

[24] Para proyectos de riego se recomienda realizar a una escala de terreno de 1:20.000 y para proyectos de drenaje una escala 1: 5.000 o menor.

[25] La fuente más actualizada corresponde al Atlas Agroclimático de Chile, elaborado por la Universidad de Chile para las regiones IV, V, RM, VI, VII y VIII. En el caso de regiones no cubiertas por dicho trabajo, el estudio denominado Mapa Agroclimático de Chile del INIA es el que posee la mayor cobertura nacional y la información contenida, al igual que en el estudio de la U. de Chile, es mensual, pero ya que los distritos son muy amplios, es necesario complementarlo con el elaborado por CIREN CORFO (Atlas Agroclimático de Chile). Con respecto a la información de Evapotranspiración Potencial, ésta debe ser verificada utilizando el estudio "Cálculo y Cartografía de la Evapotranspiración Potencial en Chile" elaborado por Ciren-CORFO y la Comisión Nacional de Riego, 1997.

[26] Con respecto a la determinación del universo de usuarios, se debe señalar que la información contenida en distintas fuentes (Ortofotos de Ciren Corfo, Catastro de Usuarios de la Dirección General de Aguas (DGA), Rol Extracto Agrícola del Servicio de Impuestos Internos (SII), Base de Datos Prediales del VI Censo Nacional Agropecuario del Instituto Nacional de Estadísticas (INE) y listados de usuarios de las Asociaciones de Canalistas), generalmente no es concordante, ya que éstas se encuentran desfasadas en el tiempo, por lo que la obtención del universo predial debe efectuarse a través de una complementación de las distintas fuentes.

a la información proporcionada por el Censo Nacional Agropecuario del INE y antecedentes previos recopilados en la zona[27].

Los ***aspectos sociales*** deben también ser considerados, caracterizando la población comunal en sus aspectos socio-económicos y realizando encuestas en terreno si ello fuera necesario[28].

Por último, es necesario analizar los ***mercados*** con el objeto de estimar la evolución de los precios en los distintos mercados. Este estudio deberá abordar el análisis de comercialización y precios de productos e insumos tanto para la situación SP como para la CP. Ello permitirá determinar aquellos productos que son potencialmente atractivos y para los cuales se propondrá su incorporación o intensificación en el área de influencia del proyecto[29].

Los efectos de los tratados de libre comercio deben ser incorporados en todos los mercados, ya que el escenario para cada producto agrícola puede sufrir importantes cambios respecto de la situación actual e histórica. Además, es necesario determinar la evolución histórica de la superficie destinada a cada cultivo y de la estructura productiva en la región, provincia, comuna o área del proyecto.

b. Estructura de cultivos

La determinación de los cultivos correspondientes a las situaciones de cultivo CP y SP permite identificar los efectos que produce el proyecto. Éste tendrá beneficios si debido a su ejecución se han incorporado nuevas hectáreas cultivadas, si el agua se utiliza para rotar los cultivos o si se produce un cambio en el tipo de cultivos en la zona, entre otros. Es importante precisar cuándo se observarán los cambios, ya que de ellos depende la determinación de beneficios.

La información relevante para construir la estructura de cultivos adecuada es la asociada a la superficie beneficiada y a los cultivos. La estructura de los cultivos se proyecta sobre la base de la historia del mercado, el clima y las características del suelo y la capacidad tecnológica de los agricultores y las empresas. Esto debe hacerse tanto para las situaciones SP y CP con el fin de identificar los cambios que le son imputables.

Las hectáreas involucradas en el proyecto deben clasificarse según la potencialidad de mejorar su sistema de riego actual o bien según su potencialidad de incorporarse al riego como consecuencia del proyecto. Cabe señalar que las hectáreas mejoradas son

---

[27] Debe recalcarse que es esencial realizar la estratificación por tamaño predial con base en las tipologías de agricultores, siendo necesario agrupar los predios de acuerdo a un mismo propietario y no trabajar a nivel de rol individual.

[28] Los antecedentes sociales deben ser recopilados mediante la revisión bibliográfica disponible en el Instituto Nacional de Estadísticas (INE), Ministerio de Planificación (MIDEPLAN) y Municipalidades.

[29] La selección de los rubros a analizar debe basarse en la información proporcionada por las encuestas censales del último censo nacional agropecuario disponible (INE), ODEPA, Catastro CORFO, la recogida en la encuesta muestral agropecuaria y en la obtenida en los Estudios de Casos. Los rubros más importantes de analizar serán aquellos que ocupan la mayor superficie en el área del proyecto y que, además, pueden ser representativos de otros por sus similitudes fisiológicas y de rentabilidad.

las que se producen con el sistema de riego actual, pero que necesitan optimizar su producción. Luego, en cada área del proyecto se debe proyectar una estructura más razonable de cultivos, respecto del rendimiento de cada cultivo y del método de riego a ser utilizado con sus respectivos niveles de eficiencia.

Existen dos métodos para estimar la estructura de cultivos más adecuada: i) ***Método técnico***: a partir de una lista de cultivos adecuados para la región debido a su clima y tipo de suelo, los agricultores son consultados con el fin de determinar aquellos cultivos que tienen más probabilidades de ser producidos, ii) ***Método de asimilación***: en las áreas que incorporarán el proyecto se repite lo que actualmente ocurre en zonas de regadío con similares características de clima, tipo de suelo y agricultores.

En general, frente a un pronóstico de disponibilidad de agua, los agricultores deciden qué parte de sus tierras serán para el riego y que parte dejarán sin regar. Dentro de la superficie de riego, reservan una parte a cultivos permanentes, ya que tienen confianza en que todos los años tendrá suficiente agua para regar. La otra parte, es destinada a cultivos anuales, ya que tienen la flexibilidad para variar el número de hectáreas sembradas anualmente de acuerdo a la hidrología esperada. Un productor con un predio con baja disponibilidad de riego tendrá los incentivos para optar por cultivos anuales en la medida que estime que tendrá agua suficiente para su riego. Por el contrario, un productor con alta seguridad de riego será incentivado a plantar cultivos permanentes, dada su mayor rentabilidad. Este estudio servirá de base para determinar la demanda de agua que se detallan en la siguiente sección.

i. Encuesta muestral o censal

Con el objeto de recabar antecedentes para el diagnóstico de la situación actual y obtener los *estudios de casos* que permitan caracterizar a los *predios promedios*, se debe efectuar una *encuesta muestral o censal*[30], cuya distribución y cobertura dependerá de los tamaños de predio del universo de agricultores. El formato de esta encuesta debe ser simple, lo cual dependerá de la ejecución o no de una posterior encuesta de detalle.

ii. Predios promedio y estudio de casos

Para la obtención de los *predios promedio* debe subdividirse cada estrato[31] por tamaño de predio, de manera que puedan ser representadas al máximo todas las variables que participan al interior de las tipologías prediales (sectores, suelos, clima, niveles tecnológicos, uso de suelos, disponibilidad de agua, etc.), procediendo posteriormente a seleccionar un predio promedio, el cual es la resultante del cuociente entre el área de cada subdivisión predial y el número de predios que representa.

---

[30] Muestra es un subgrupo de la población, representativo y finito que se extrae de la población accesible. Las características de la población general deben reproducirse en ella, lo más exactamente posible. Arcia, Córcega, Godoy y Jiménez (2009).

[31] Unidad de muestreo que presenta similares características, en diferentes atributos, al interior de un área de riego.

iii. Uso del Suelo

Para efectuar el análisis de potencialidad productiva de cada predio promedio, se requiere necesariamente de la identificación de los límites de la *envolvente de riego* del área a estudiar. Esto debe efectuarse demarcando en planos los terrenos que poseen potencial para ser cultivados. Una vez que se obtengan mayores antecedentes de la zona en estudio, se debe efectuar la subdivisión en sectores de riego.

Considerando los antecedentes que se dispongan relativos a sectores, estrato de tamaño, distritos agroclimáticos y estudio de suelos, se debe determinar las superficies brutas, netas, improductivas y arables.

La condición de riego o secano se establece a través de la determinación de condiciones propias de cada sector en cuanto al riego actual de éste, las que se refieren principalmente a la existencia o carencia de red de riego.

Finalmente, el uso del suelo se obtiene a través de la expansión de las superficies brutas de cada *predio promedio* al interior de la tipología representada. Mediante la suma respectiva de ellos, se obtendrán los resultados por estrato de tamaño, sectores y para el total del área en estudio.

iv. Fichas de Cultivo

Para efectos de determinar las fichas de cultivo de situación actual se debe utilizar la información de las encuestas de detalle; a medida que la cobertura de ellas es más alta, mayor será el grado de precisión.

Los rubros productivos que se identifiquen por *predio promedio* en el área de proyecto deben ser caracterizados por medio de fichas de cultivo. Éstas deben ser valoradas a precios de mercado y sociales. Las fichas deben incluir los ítems correspondientes a mano de obra, maquinaria, tracción animal, insumos, operación y mantención de riego presurizado, fletes, costos financieros e imprevistos. Estos se traducirán en los costos directos por hectárea.

c. Requerimientos técnicos de agua

Las necesidades de agua de riego se deben determinar para cada uno de los cultivos asignados por *predio promedio* y *sector de riego* y a partir de la estructura de cultivos, consistiendo básicamente en el cuociente entre la *evapotranspiración real*, *ETr* y la *eficiencia de riego* a nivel del potrero. Para los efectos la determinación de la ETr media por sector, se pondera la ETr propia de cada cultivo por la superficie que le ha sido asignada dentro del total del sector.

i. Factor hídrico del modelo de simulación hidrológico SP

El cálculo de los rendimientos está en directa relación con el factor hídrico, el cual en períodos de déficit, en especial de sequías severas, provoca que la producción de los rubros productivos, tanto en términos físicos como económicos, se vea notablemente disminuida. Se recomienda trabajar con funciones de producción relacionadas a los

factores de satisfacción de las demandas de agua, según la operación de un modelo de simulación hidrológico y económico que considere los efectos anuales y mensuales de los caudales correspondientes a las series hidrológicas utilizadas, con lo que el área de influencia de un proyecto determinado no será definido por la seguridad de riego del 85%, sino por una optimización económica resultante del modelo planteado, en que la variable de ajuste es la superficie destinada, por ejemplo, a praderas naturales, cultivos anuales u otros[32].

1. Determinación de los requerimientos de agua para uso agrícola

La determinación de la demanda de agua para cultivos requiere la estimación de ecuaciones que evidencien las necesidades de agua para cada tipo de cultivo. Estos requisitos están relacionados con factores tales como la evaporación, la precipitación efectiva y la eficiencia del riego, entre otros. El requerimiento de agua para un cultivo particular ***X (RAx)*** corresponde al caudal o flujo de este recurso que es requerido por los productores que producen dicho cultivo en el área de influencia del proyecto. El requerimiento mensual se calcula multiplicando la superficie total cultivada con X que son regadas por el proyecto por el módulo de riego correspondiente (***MR***) correspondiente. El requerimiento de agua del total de hectáreas del proyecto se expresa en litros por segundo (l/s).

$$RAx = (Ha) * (MR)$$

Donde:

RAx es el requerimiento de agua del cultivo *X*;

Ha es el número de hectáreas del predio promedio;

MR es el caudal continuo de agua requerido para que una hectárea de cultivo (l/s). Luego:

$$MR = RV * \frac{1000(\frac{lts}{m3})}{3.600(\frac{s}{hrs})} * \frac{1}{(N°días\frac{riego}{mes}) * ER}$$

Donde:

RV es el requerimiento mensual de agua o volumen de agua requerido por una hectárea de cultivo durante un mes. Se expresa en m³/Ha y corresponde a la cantidad de agua que debe ser aplicada a un cultivo para satisfacer sus necesidades. Es igual a

[32] Actualmente los proyectos de riego se elaboran estimando una seguridad de riego del 85%, la cual no necesariamente se ajusta a los requerimientos de satisfacción de la demanda de los cultivos, así como tampoco al comportamiento de los agricultores al momento de producirse problemas de sequía. En efecto, el criterio del 85% de seguridad no considera que los cultivos multi-anuales deben tener un 100% de satisfacción de sus demandas de agua, así como tampoco que en un año seco siguen utilizándose recursos eventuales, como es el agua de primavera, con lo cual en un año seco, si las condiciones climáticas lo permiten es factible adelantar siembras y cosechas a través de cultivos de tipo anual y hortalizas de un ciclo productivo más corto.

la diferencia entre el uso consuntivo (UC) y la precipitación efectiva (PE), ambos calculados mensualmente;

ER es el factor de eficiencia del sistema de riego que indica el grado de eficiencia en el aprovechamiento de agua. ER varía en función de las diferentes modalidades de riego. No tiene unidades de medida asociadas.

RV puede definirse asimismo como:

$$RV = (UC - PE)*10$$ [33]

Donde:

UC son los (mm) evaporación real del cultivo o mm de consumo real de agua por él.

PE son los milímetros (mm) de agua total de precipitaciones aprovechados por la planta para cubrir sus necesidades parcial o totalmente;

Luego, el uso consuntivo resulta de:

$$UC = EPC * K$$

Donde:

EPC es la cantidad de evapotranspiración potencial o agua consumida por el cultivo durante un período de tiempo determinado. Se expresa en milímetros por mes.

K es el factor de ponderación que se calcula ponderando las hectáreas del proyecto (Ha) por el factor de cultivo (f) según la siguiente fórmula:

$$K = \frac{\sum_{i=1}^{n} Ha_i * f_i}{\sum_{i=1}^{n} Ha_i}$$

Donde:

HA_i se expresa en hectáreas y;

f_i es el factor de cultivo o coeficiente de cultivo que depende de las características anatómicas, morfológicas y fisiológicas de cada especie. Este factor refleja la capacidad de la planta para extraer el agua en las diversas etapas del período vegetativo. No tiene unidades de medida asociadas.

2. Ajuste de los requerimientos de agua para uso agrícola a nivel de sistema

El requerimiento de agua a nivel del sistema en su conjunto debe estimarse corriendo el resultado anterior, a partir del análisis del sistema de canales extraprediales e infraestructura de regulación nocturna, a fin de determinar las pérdidas de conducción (infiltración en canales) y derrames en el sistema. Luego de aplicados los

[33] Sólo para efectos de escritura d e la fórmula

factores de eficiencia son determinadas los *requerimientos totales a nivel de sistema de riego*.

Como en el caso anterior, el requerimiento debe ser estimado mensualmente. Por otra parte, las eficiencias de riego para aquellos cultivos asignados, será la que se produce a nivel de potrero de acuerdo a los factores indicados en la Ley Nº18.450 de Fomento al Riego y Drenaje. Éstas variarán según sea el método de riego de que se trate, ya sea éste presurizado o tradicional.

ii. Factor hídrico del modelo de simulación hidrológico CP

La *metodología de cálculo del factor hídrico en la Situación CP* es idéntica a la ya descrita, por lo que se omite su desarrollo.

d. Disponibilidad de recursos hídricos en las Situaciones SP y CP

Debe realizarse un análisis de la disponibilidad de recursos hídricos para las situaciones SP y CP. La información relevante para el análisis de la oferta debe considerar los siguientes componentes: i) *la infraestructura de riego o drenaje existente:* a fin de determinar su capacidad y estado actual de conservación se debe obtener información sobre el tipo de obras existentes y el estado en que se encuentran. Las obras por lo general son la cuenca de captación, canales, tanques de regulación de la noche, el drenaje, etc. Se deben identificar las fuentes de agua utilizadas actualmente por los productores y el volumen obtenido por cada fuente; ii) *operación y mantenimiento del sistema de riego*: se refiere a las técnicas de riego utilizadas, la eficiencia con la que actualmente se realiza el suministro, incluyendo todos los costos de riego, operación y mantenimiento, entre otros; iii) *las organizaciones y los usuarios existentes y la manera en que operan*: deberá describirse el modelo de asignación de agua y el carácter de la organización encargada del suministro.

e. Déficit de agua para uso agrícola (balance hídrico)

El déficit de la demanda de agua para riego se determina mediante la diferencia entre la cantidad de agua demandada y la ofrecida. Esta operación es lo que se conoce como balance hídrico. Para las hectáreas incorporadas, el déficit de la demanda de agua de riego coincide con la cantidad de demanda de agua de toda la zona que será convertida en apta para la producción agrícola. El déficit total será igual a la suma del exceso de demanda anterior y responde a la siguiente ecuación:

$$BH = DIA = DT - OA$$

Donde:

BH es el Balance Hídrico;

DIA es la Demanda Insatisfecha Actual;

DT es la Demanda Total;

AO es la Oferta Actual;

El cálculo del déficit se debe realizar cada mes para identificar los meses en que el problema existe y aquellos en los que la restricción no funciona.

La suma de la oferta de agua para el riego y la actual oferta, que cubrirá la demanda insatisfecha actual, es la disposición del total del agua de riego correspondiente a la situación con el proyecto.

La justificación del déficit requiere una identificación apropiada de las siguientes deficiencias: i) ***las deficiencias técnicas en los mecanismos de distribución utilizados de derechos de aprovechamiento de aguas***: debe tenerse en cuenta que en muchos casos, la restricción de la oferta debido a la deficiencia en la conducción y distribución de agua y / o el tipo de riego empleado; ii) ***las deficiencias en el mecanismo de administración del servicio***: puede suceder que el problema de abastecimiento de agua se origina en un manejo inadecuado por la entidad a cargo; iii) ***las deficiencias económicas derivadas del mecanismo de distribución***: es probable que el déficit de abastecimiento de agua provenga de aguas residuales por parte de algunos agricultores que se enfrentan a una tarifa volumétrica o insignificante.

Estas deficiencias se deben tomar en cuenta al diseñar o proyectar la situación SP para evitar la sobreestimación de los beneficios del proyecto. Por ejemplo no debe estimarse como beneficio del proyecto el sellado de un canal cuyos beneficios obedecen a una optimización de la situación actual. Asimismo, si la capacitación es socialmente deseable (sus costos sociales son más bajos que sus beneficios sociales), el aumento del beneficio neto agrícola resultante no puede ser considerado como un beneficio atribuible al proyecto de impermeabilización. Lo correcto, es que en la evaluación de este proyecto se calcule un beneficio asociado con el valor de los costos de formación evitados, ya que el proyecto no incurrirá en ellos. Cabe señalar que el proyecto de impermeabilización normalmente puede tener costos asociados a la capacitación.

f. Asistencia técnica y crediticia

Se deberán identificar y analizar aquellas instituciones que actualmente brindan apoyo técnico a la actividad agropecuaria del área de estudio, necesario para lograr las metas del programa de desarrollo que se proponga. Además, es necesario identificar las instituciones financieras que permitan contar con el apoyo crediticio adecuado para sustentar el programa de implementación predial.

La identificación de las instituciones de apoyo y el análisis de ellas para su posterior utilización serán conocidas, al igual que las medidas de acción actualmente existentes, a través de la información que se obtendrá de las encuestas realizadas en el área del proyecto y entrevistas a informantes calificados. Por otra parte, se encuentran disponibles para los agricultores algunos instrumentos CORFO, tales como FAT y PROFOS y el programa de capturas tecnológicas desarrollado por el Ministerio de Agricultura a través del FIA.

En relación a las formas de financiamiento de los proyectos, actualmente existen dos alternativas: i) Ley Nº1.123, que considera la ejecución de las obras por parte del Estado y recupero de tales costos en el tiempo; ii) Ley de Concesiones, mediante la cual el desarrollo de las obras se realiza a través de un ejecutor privado, con

explotación por un período de tiempo del proyecto, al cabo del cual entrega la propiedad de las obras al Estado.

II. Estimación de beneficios asociados a proyectos de riego

Los beneficios atribuibles a los efectos del riego se relacionan con la mayor disponibilidad de agua, la liberación de los recursos hídricos y el aumento de la eficiencia en el riego. Esto permite la incorporación de nuevas tierras para actividades productivas y mejorar los ingresos de aquellos que fueron regados, ya sea a través de una mayor asignación de agua y/o un aumento en la seguridad de riego. En algunos casos, como consecuencia de la disminución del riesgo en el suministro de agua, opera un cambio a tipos más rentables de cultivos.

Para determinar los beneficios directos por riego se pueden utilizar métodos alternativos:

- *Método de la Productividad Marginal*, que consiste en estimar el valor presente neto de la mayor producción agrícola.
- *Método del Valor Incremental de la Tierra*, que consiste en la estimación del aumento de valor del suelo como consecuencia del proyecto.
- *Método del Valor de Mercado de las Transacciones* de Derechos de Aprovechamiento de Aguas.

a. Estimación de beneficios netos por el método del Valor del Producto Marginal

El ***método de Valor de la Productividad Marginal*** y sus técnicas relacionadas (cambio en el ingreso neto y la función de producción), se aplican cuando el agua cruda es utilizada como consumo intermedio en la producción de otro bien. Estos métodos se basan en el principio que un individuo (u organización) maximiza sus beneficios utilizando el agua (y cualquier factor productivo) hasta el punto en que el ingreso neto obtenido de contratar (o consumir) una unidad adicional es exactamente igual al costo marginal de obtener dicha unidad.

El método supone que si todos los mercados son competitivos, excepto el del agua, el valor total de producción es exactamente igual a los costos de oportunidad de todos los insumos, incluidos el capital y la tierra por supuesto. Cuando los costos de oportunidad de los otros insumos, distintos del agua, están determinados por su precio de mercado (o precio sombra), entonces el precio sombra del agua es igual a la diferencia (residuo) entre el valor de la producción y los costos de todos los insumos distintos del agua. Dado el valor total de la producción por:

$$VTP = \sum_{i=1}^{n} p_i * q_i + VPMgA(Ha)$$

Donde:

VTP es el valor total de la producción agrícola en este caso;

p_i es el precio de los otros insumos *i* de producción;

q_i es la cantidad demandada de los otros insumos *i* de producción;

VPMgA(Ha) es el valor del producto marginal del agua en la hectárea tipo, que es función de la cantidad consumida.

Despejando puede obtenerse el *VPMgA(Ha)* que en equilibrio corresponde al precio del recurso:

$$VPMgA(Ha) = VTP - \sum_{i=1}^{n} p_i * q_i$$

Habitualmente se conoce a éste como *Método del Presupuesto*, donde en el caso de los embalses y obras hidráulicas anexas, la disponibilidad de mayor cantidad de agua permite a los agricultores aumentar su producción agrícola como la diferencia entre los excedentes agrícolas de las situaciones Con y Sin Proyecto.

La aplicación de este método debe ser rigurosa en la inclusión de todos los gastos efectuados por el usuario para captar, transportar y almacenar agua, además de todos los otros costos asociados (por ejemplo, mano de obra familiar, gestión de la granja, fertilizantes, otros).

Este es el método de más amplia difusión en la evaluación de proyectos de riego por la relativa facilidad de aplicación. No obstante, es altamente sensible a pequeñas variaciones en los supuestos y especificaciones relativas a los rendimientos y precios de los insumos. Asimismo, si se omite algún atributo o insumo, erróneamente se asignarán mayores beneficios al agua, sobrestimando su valor o precio sombra[34].

En general, el riego es el mayor uso del agua a nivel mundial (Gleick, 1993), pero, paradójicamente, también está entre los usos menos rentables del recurso (Gibbon, 1986). Incluso, algunos estudios de valoración del agua de riego (Young, 1996) atribuyen considerables deficiencias a los métodos, con una marcada tendencia a la sobrestimación del valor del agua; entre ellos, el propio método de valoración residual. Aunque teóricamente el precio sombra se define como el "valor marginal" del bien o producto, el valor residual corresponde al valor promedio. Los valores medio y marginal son idénticos sólo en los casos en los que las funciones de producción tienen rendimientos constantes a escala (las diferencias entre valor promedio y marginal depende de la naturaleza de la función de producción, con lo cual resulta una cuestión empírica establecer la pertinencia del enfoque.

El ***enfoque de función de producción*** estima el valor del agua a partir del análisis de regresión aplicado a una muestra representativa de agricultores y/o de productores industriales, estimando una función de costos que represente la relación insumo-producto entre el agua y los bienes finales (cultivos u otros). Las funciones se establecen en base a experimentos, modelos matemáticos de simulación y análisis estadístico de encuestas o relevamiento de información secundaria. El valor marginal del agua se obtiene derivando la función con respecto al agua; es decir, midiendo la variación marginal de la producción (o la reducción de costos) resultante de pequeños cambios en el uso de agua.

[34] Ello ocurre por ejemplo cuando la mano de obra familiar no es "efectivamente pagada", por lo cual no se incluye su costo de oportunidad en la función de producción o cuando las diferentes "distorsiones" de mercado (impuestos, subvenciones y políticas de protección comercial) hacen que los precios de los insumos no reflejen su verdadero valor (costo) social.

Este enfoque de función de producción y en menor medida la programación matemática, son las técnicas más ampliamente aplicadas para la valoración del agua en la industria, más que en el riego. El método del valor residual no se utiliza en la valoración del agua en la manufactura, debido a que en general la participación del agua en los costos es relativamente menor respecto a otros insumos productivos.

El valor económico del agua en riego estará dado por:

$$VERR = \sum_{j=1}^{m} Ha_j * VPMgA(Ha_j)$$

Donde:

VERR es valor económico del agua en riego estimado a través del método de la productividad marginal;

Ha_j es el total de hectáreas tipo *j*.

$VPMgA(Ha_j)$ es el valor del producto marginal del agua en la hectárea tipo *j*.

m es el total de tipos de hectáreas (frutales, anuales, praderas, otras).

Para mayores antecedentes sobre la aplicación del método se recomienda revisar el Apéndice F.

b. Estimación de beneficios netos por el método del Valor Incremental de la Tierra

La estimación del valor del agua a partir del mercado de la tierra se basa en el enfoque de ***precios hedónicos***: el precio de un bien es función de la cantidad de atributos que dicho bien tiene. De esta forma, la función de precios hedónicos puede presentarse de la siguiente manera:

$$P_x = f\,(z_1, z_2, z_3, z_4, z_5, z_6, \ldots\ldots\ldots, z_n)$$

Donde

Px es el precio del bien *x*;

zi son los atributos *i* que tiene el bien *x*.

Si se incrementa la cantidad de un atributo sin variar la cantidad del resto, el resultado esperado es el incremento del precio del bien *x*. En tal caso, si *x* posee más atributos, el consumidor incrementa su disposición a pagar por dicho bien. Dado que lo único que cambió fue la cantidad del atributo *zi*, el incremento del precio de *x* es atribuible íntegramente a la mayor cantidad de *zi*, lo que entrega el *precio sombra* del atributo *zi*. Así, el precio del atributo se obtiene derivando la función de precios hedónicos respecto al atributo incrementado:

$$\frac{\partial Px}{\partial zi} = P(zi) = \Delta P_j$$

Donde

ΔP_j es el incremento en el precio de la tierra de la hectárea tipo *j* (diferencia entre tener o no el atributo riego);

P(zi) es el precio, o valor, del atributo ***i*.**

Entre los atributos del bien tierra agrícola, se pueden señalar las siguientes: i) calidad del suelo en términos de capacidad productiva; ii) aptitud del suelo en términos del riego; iii) Localización en función de la red vial; iv) tamaño del predio; v) condiciones climáticas de la zona; vi) infraestructura de riego intrapredial; vii) construcciones; ix) inversión en plantaciones de largo plazo como frutales; x) disponibilidad y seguridad de agua para riego; x) salinidad del agua subterránea; xi) proximidad a centros de abastecimiento y mercados; entre otros. Estos diferentes atributos explicarían la variabilidad del precio por hectárea de tierra en diferentes zonas del país, e incluso, dentro de una misma zona. Para efectos de la valoración, es relevante considerar que los proyectos de riego buscan modificar solamente el atributo correspondiente a la disponibilidad y/o seguridad de agua para riego.

Los *precios hedónicos* constituyen una metodología útil para estimar precios de bienes que no tienen mercados formales y perfectos y que son atributos de otros bienes, que sí tienen mercados completos y por tanto, con precios representativos de su valor. Así, un análisis de regresión de precios de venta de tierras podría revelar la contribución de la disponibilidad del agua (o de cualquier factor) al valor total de la tierra, derivando la función de valor hedónico con respecto a ese atributo. No obstante, la estimación de valores económicos de los recursos naturales con métodos hedónicos es bastante dificultosa en la práctica. En general, el requerimiento de datos específicos es muy alto, es difícil obtener una muestra grande de transacciones, si el recurso hídrico se encuentra en terrenos públicos no es posible observar transacciones de mercado y por último, los compradores y vendedores deber ser capaces de reconocer las diferencias físicas en el nivel de las características evaluadas. Asimismo, las inferencias de la disposición a pagar y la demanda pueden ser derivadas sólo cuando existe suficiente número de observaciones disponibles[35].

El valor económico del riego estará dado por:

$$VERVIT = \sum_{j=1}^{m} Ha_i * \Delta P_j$$

Donde:

VERVIT es valor económico del riego estimado a través del método del valor incremental de la tierra;

[35] Asimismo, es usual la utilización de precios promedio de corte transversal, ya que el uso de series de tiempo requiere costos adicionales relativamente altos. Por ello, suele sugerirse que en ausencia de información independiente de precios de terrenos agrícolas en la zona de interés, se utilice el Método de Tasación Fiscal (detallado en Apéndice) dada su universalidad y disponibilidad en medios computacionales, combinándolo con el método de observaciones de mercado para ajustar los diferenciales de precios correspondientes. No obstante, esta corrección también restringe su aplicación y sus ventajas respecto a otros métodos.

Ha_j es el total de hectáreas tipo *j*.

ΔP_j es el incremento en el precio de la tierra de la hectárea tipo *j*;

m es el total de tipos de hectáreas (frutales, anuales, praderas, otras).

Para mayores antecedentes sobre la aplicación del método se recomienda revisar el Apéndice G.

Conceptualmente, en equilibrio los mercados de la tierra, del agua (analizado posteriormente) y de los productos agrícolas deberían llegar a idénticos resultados, aunque ello supone que se trata de mercados perfectamente competitivos, en los cuales los precios de los activos reflejan exactamente su capacidad de generar beneficios (por lo cual el precio es igual al valor actual del flujo futuro de beneficios netos esperados del activo).

c. Estimación de beneficios netos por el método de Valorización de de los Derechos de Aprovechamiento de Aguas

La teoría económica indica que en condiciones ideales son las fuerzas del mercado las que determinan los precios y estos serán óptimos para la sociedad (maximización del bienestar). En el caso de los recursos hídricos no existen en general mercados formales y eficientes y en muy pocos países la legislación permite una libre transacción de aguas (entre las excepciones está Chile).

Una aproximación al precio del agua se obtiene analizando las transacciones de derechos de aprovechamiento en mercados "relativamente" competitivos, en los cuales no existen importantes asimetrías de información. El concepto de precio del agua ha de entenderse, en un contexto de mercados, formales o informales, como la compensación monetaria asociada a un intercambio de agua (valor de intercambio del agua).

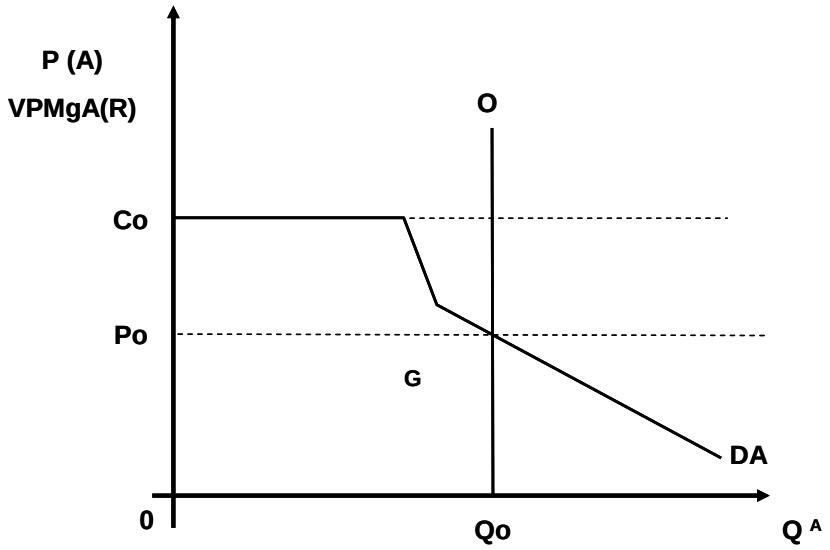
Cuando se dice que el precio del agua es de una cierta magnitud, en general se está considerando el costo del servicio de entregar el agua desde una fuente de abastecimiento hasta donde se utilizará. Esto implica, en la mayoría de los casos, que debería haber una infraestructura para la captación y conducción del agua. El costo de la infraestructura generalmente tiene que amortizarse, pero además se requiere mantener en buen estado la infraestructura y pagar al personal que la operará, lo cual desde luego implica un costo. Dada la condición de activo del derecho de uso, que determina que su demanda dependa de decisiones de largo plazo, en el corto plazo su valor está ligado con el valor que los distintos usuarios le otorguen a disponer del insumo agua cruda para sus actividades, es decir, al VPMg del agua. También es relativamente conocido el volumen de agua cruda disponible (Qo en la Figura N°2.1).

La demanda está definida por el precio del producto, el ingreso de las unidades demandantes, los precios de productos sustitutos en el consumo y otros factores como las preferencias y la temporada climática. La oferta está determinada por el precio del producto, el ingreso de las unidades oferentes, los productos sustitutos en la

producción y otros factores como las economías de escala o las tecnologías de producción.

Figura N°2.1

Equilibrio de CP en el mercado del agua



Fuente: Elaboración propia en base a antecedentes varios.

En el caso del derecho de aprovechamiento, al conocer el costo de oportunidad del insumo en las distintas temporadas del año se podría estimar su precio a partir de la siguiente expresión:

$$VDA^{CP} = \frac{\sum_{t=1}^{T} p_t^E * m_t^3}{r}$$

Donde:

$\boldsymbol{VDA^{CP}}$ es el valor del derecho de aprovechamiento de aguas en el corto plazo;

$\boldsymbol{p^E_t}$ es el precio del agua cruda en la temporada t del año;

$\boldsymbol{m^3_t}$ es el volumen de agua cruda disponible en la temporada t;

$\boldsymbol{r}$ es la tasa de descuento pertinente;

$\boldsymbol{T}$ es el total de temporadas en las que se puede dividir el año;

Corresponde indicar que *r* dependerá de las preferencias de cada usuario y del tipo de derecho (consuntivo, no consuntivo). Esta estimación supone que el precio del agua es conocido.

El valor económico del riego estará dado por:

$$VERMA = \sum_{j=1}^{m} DA_i * VDA_j$$

Donde:

VERMA es valor económico del riego estimado a través del mercado del agua;

DA_j es el total de derechos de aprovechamiento tipo *j (consuntivos)*.

VDA_j es el valor del derecho de aprovechamiento de aguas tipo *j (consuntivos)*;

m es el total de derechos de aprovechamiento consuntivos.

A los fines de obtener información sobre la comercialización de derechos aprovechamiento de aguas, separadamente de los derechos de uso de la tierra, se recomienda analizar las siguientes fuentes de información (Muchnik et.al, 1997)[36]:

1. *Registros de Propiedad de Aguas*[37] *(Conservador de Bienes Raices).*
2. *Catastro Público de Aguas de la DGA.*
3. *Organizaciones de usuarios o regantes.*

Si bien en general en los países que han establecido mercados para el agua las transacciones han aumentado en promedio la eficiencia en la asignación del agua entre los usos consuntivos competitivos, la evidencia indica que los precios no representan necesariamente el valor marginal del agua, porque en general los ***mercados del agua*** no han sido lo suficientemente competitivos (Young, 1996), proporcionando incentivos distorsionados para la asignación eficiente del recurso.

A pesar de las potenciales ventajas del mercado para asignar eficientemente los recursos, un mercado competitivo requiere un gran número de compradores y vendedores, transacciones frecuentes y perfecta información, entre otros requisitos. En Chile, el mercado del agua, si bien incipiente, aún no dispone de la madurez suficiente como para hacer representativas de mercado (excepto excepciones) los precios observados del agua. Asimismo, se observa una amplia varianza de precios, no obstante lo cual, ha funcionado en forma más adecuada en áreas con asociaciones de usuarios mejor administradas, con derechos de propiedad bien definidos, adecuada infraestructura de entrega (grandes reservorios y compuertas ajustables con medidores de flujo) y en zonas donde el agua enfrenta mayor restricción de escasez. En áreas sin tales características, los altos costos de transacción limita el desarrollo del mercado del agua. Los mercados formales de transacciones se observan mayormente en el sector norte del país, donde el agua tiene mayor escasez relativa. Los mercados de arriendo de agua son menos comunes aún; éstos permiten el intercambio de los derechos por un período corto de tiempo (por ejemplo los ciclos de riego en la agricultura). No obstante, debe tenerse especial cuidado con el uso de estos precios, por cuanto se trata de precios de corto plazo que pueden estar determinados por otros factores distintos del valor marginal del agua. En este sentido, la observación de precios en mercados de derechos de agua perpetuos es más apropiada para estimar los valores de largo plazo, aunque debe tenerse presente que en el largo plazo lo que se observa es el precio de un bien de capital, por ello éste debe ser convertido a su valor anual a través de una tasa de retorno apropiada.

Un problema adicional en el uso de precios observados, es que los mercados pueden estar distorsionados por intervenciones públicas, como las políticas agrícolas diseñadas para influenciar los precios agrícolas.

III. Consideraciones adicionales para la formulación de proyectos de riego

Al formular el proyecto, además de los aspectos productivos deben considerarse aspectos tales como el tiempo de ejecución y la estructura organizacional para

[36] Ver "Comercialización de los derechos de aguas en Chile", FAO.

[37] Es el registro en el cual se realizan las inscripciones de los títulos, arriendos, actos y resoluciones de derecho de aprovechamiento de aguas.

viabilizar y gestionar el proyecto. En algunos proyectos será prioridad establecer la formación de las asociaciones de regantes y la capacitación de los beneficiarios en la gestión eficiente del agua y en la operación y mantenimiento de la infraestructura de riego. Estas asociaciones son las responsables de la gestión del sistema de riego. Deben establecer acuerdos sobre el pago de las tasas para el riego, la aplicación de multas y sanciones, etc.

Asimismo, la gestión debe abarcar tanto el componente de obras civiles como el componente agrícola, debido a que ambos componentes están estrechamente relacionados entre sí. Por ello, la visión se debe establecer con el fin de garantizar la eficacia del proyecto. En este sentido, los aspectos de gestión del sistema de riego no deben ser subestimados: la mala gestión puede llevar a no lograr los objetivos a largo plazo esperados por el proyecto.

Así también, para asegurar el éxito del proyecto deberá velar porque además de la inversión en infraestructura, se realicen los cambios en los sistemas de producción en el área de influencia, incorporando desarrollos tecnológicos en los sistemas de riego intraprediales, mejoras en los procesos de producción y comercialización, diversificación de cultivos, reconversión productiva, la adaptación de especies de acuerdo a la nueva disponibilidad de agua, programación de siembras y capacitación de la comunidad involucrada en los diferentes aspectos relacionados con el proyecto, entre otros. En definitiva, la mayor disponibilidad de agua no asegura un desarrollo agrícola eficiente; los proyectos deben ir acompañados de cambios en el desarrollo de la agricultura.

APÉNDICE D

GUIA GENERAL DE PROCEDIMIENTOS PARA LA FORMULACIÓN DE PROYECTOS DE RIEGO

A continuación se presenta un guía general para valoración de infraestructura:

1. **Antecedentes de origen del Proyecto**: ubicación y tamaño del embalse; superficie de riego y seguridad de riego; número predios que beneficiaría la obra y tamaño promedio; capacidad de almacenamiento de agua.
2. **Recuperación de costos**: Identificar el mecanismo para la transferencia y reembolso del costo del Embalse.
3. **Descripción agrícola de la Zona Actual del Proyecto:**
    a. Superficie regada y por regar**:** frutales, cultivos anuales y praderas naturales.
    b. Estructura de propiedad de la tierra sin y con proyecto; estructura socioeconómica de los regantes.
    c. Productividad agrícola: manejo agronómico, tecnología disponible y en uso actualmente, sin y con proyecto
4. **Valor del suelo agrícola**: secano y riego.
5. **Derechos de aprovechamiento de aguas**: valor de mercado y situación legal.
6. **Costos de operación y mantenimiento sin y con proyecto**: costos ordinarios de faenas de limpieza y despeje de canales y acueductos, mantenimiento de revestimientos y obras de arte, reparaciones menores en general, los sueldos y jornales del personal a cargo de la administración, energía y combustible necesarios en la explotación de las obras de mantenimiento de campamentos.
7. **Flujos de producción sin y con proyecto**: los datos de estimación de flujos netos deben indicar las fuentes de origen. Se propone obtener precios y rendimientos para rubros y cultivos con mercados establecidos regularmente de ODEPA, INE, BANCO CENTRAL (al menos).
8. **Uso de fuentes oficiales**: los datos de estimación de flujos netos deben indicar las fuentes de origen. Se propone en general. obtener precios y rendimientos para rubros y cultivos con mercados establecidos regularmente de ODEPA, INE, BANCO CENTRAL (al menos).
9. Para cultivos con comercialización principal a través de **mercados informales**, deben utilizarse fuentes secundarias como estudios o fuentes primarias mediante consultas directas a productores, siempre indicando las fuentes. Al respecto, INE, FIA, ODEPA disponen de estudios diversos sobre el manejo de los cultivos, así como de los respectivos estándares técnicos.
10. Deben aplicarse **criterios de realidad** para ajustar los estándares obtenidos de fuentes secundarias de información; tanto para rendimientos como para precios por tipo de productor y tecnología en uso. Los Censos Agropecuarios disponibles en INE entregan información de rendimientos de los cultivos en Chile por región y superficies bajo riego y sin riego.

11. **Modelo de trabajo**: disponer de un técnico o profesional en la zona del proyecto que avale las estimaciones y constate en terreno: estado de la infraestructura de embalses y canales, producción agrícola, estado y edad de las plantaciones y/o cultivos, así como cualquier otro antecedente no disponible por las fuentes oficiales.
12. La **observación directa** junto al **levantamiento de información primaria** por parte de informantes clave como son los regantes, administradores y productores mismos permitirán esgrimir una opinión técnica con fundamento.

En general, para una correcta evaluación a través de los diferentes métodos, debe procurarse la información presentada en los siguientes cuadros, según estudio "Análisis para el mejoramiento del proceso de evaluación de proyectos de riego. Sistema de evaluación ex – post de proyectos de riego"; Universidad de Chile, 2007.

Cuadro N°D.1

Variables de inversión y fuentes de información

Variable	Descripción	Institución responsable de entregar información
Costos de inversión	Expropiaciones Construcción de las obras Asesoría a ITO Medidas de compensación por impactos ambientales del proyecto	DOH (Departamento de Presupuesto / Departamento de Construcción)
Obras ejecutadas	Tipo de obras ejecutadas como parte del proyecto y volumen de obras ejecutado.	DOH (Departamento de Construcción o Dirección Regional)
Plazos de ejecución del proyecto	Fecha de inicio del contrato. Fecha de inicio de las obras Fecha inicio y término principales etapas del proyecto Fecha de recepción provisoria de las obras Fecha de recepción definitiva de las obras	DOH (Departamento de Construcción o Dirección Regional)
Tamaño del proyecto	Capacidad de acumulación del embalse; Capacidad de captación de bocatomas; Capacidad de porteo de los canales (caudal de diseño definitivo)	DOH (Departamento de Construcción o Dirección Regional)

Cuadro N°D.2

Variables de operación y fuentes de información

Variable	Descripción	Institución responsable de entregar información
Volumen acumulado y caudal entregado	Corresponde al aumento de oferta de agua generado por el proyecto. Dependiendo del tipo de proyecto corresponde al volumen de agua acumulado y/o volumen entregado en los meses de la temporada agrícola.	DFL N °1.123/81 - DOH - Asociación de canalistas / Junta de Vigilancia Ley de Concesiones OO. PP. Empresa concesionaria
Asistencia técnica a los agricultores y Asistencia crediticia a los agricultores	Gasto en asistencia técnica corresponde al gasto contable destinado a tales labores identificar tipo de asistencia entregada (organización de usuarios o transferencia tecnológica). Gasto en asistencia crediticia corresponde al monto destinado y número de agricultores beneficiados con asistencia crediticia.	INDAP (agricultores pequeños) CORFO (agriculturas medianos y grandes)
Costos de operación y mantenimiento obra	Información de gastos contables estimados a la operación y mantenimiento de la obra,	Ley N ° 1.123/81 - DOH - Asociación de canalistas / Junta de Vigilancia Ley de Concesiones OO. PP. - Asociación de canalistas - Empresa concesionaria - Superintendencia de Valores y Seguros
Recuperación de costos (DFL N ° 1.123/81)	Conocer el reembolso efectivo de los beneficiarios del Proyecto.	DOH / Tesorería General de la República.
Ingresos por venta de agua (Ley de concesiones)	En proyectos concesionados es importante conocer el comportamiento que presentan los ingresos por venta de agua o servicios prestados por el concesionario.	Empresa concesionaria / Superintendencia de Valores y Seguros / Asociación de canalistas.

Cuadro N°D.3

Variables de producción agrícola y fuentes de información

Variable	Descripción	Institución responsable de entregar información
Cambios en el nivel de renta de los agricultores	El objetivo principal de un proyecto de riego es incrementar el nivel de renta de los agricultores beneficiados por el proyecto, por cual se requiere información actual de: - Estructura de cultivos - Costos de producción - Rendimiento de los cultivos - Precio de venta	- INDAP - ODEPA
Superficie regada	Corresponde a la superficie que ve incrementada la oferta de agua, diferenciando entre la superficie con un mejoramiento de la seguridad de riego (superficie regada que incrementa su seguridad de riego) y superficie de nuevo riego (superficie de secano que pasa a riego). Ver tasa de incorporación de los regantes a lo largo del tiempo.	- INDAP - ODEPA/CIREN - SAG - INE - Junta de Vigilancia
Incorporación de tecnología	Identificar inversiones en riego intrapredial y/o cambio en los sistemas de riego.	- CNR - DGA - INDAP - DOH
Estructura de propiedad de la tierra	Analizar el impacto generado por el proyecto en la propiedad de la tierra del grupo beneficiario.	- INDAP - DOH - INE
Valor del suelo agrícola	La mayor oferta de agua que genera el proyecto incrementa el potencial productivo del suelo agrícola de la zona beneficiada por el proyecto, lo cual debiera reflejarse en un mayor valor de la tierra.	- DOH - Conservador de Bienes Raíces (CBR) - SII - ODEPA
Valor de los derechos de agua	En aquellos casos en que exista un mercado de agua eficiente revisar los precios de los derechos de aprovechamiento de aguas.	- DGA - DOH - Registro de Propiedades (CBR) - Juntas de vigilancia, regantes, usuarios.

Asimismo, será importante disponer de información sobre la totalidad de la superficie bajo riego sin y con proyecto, elaborados según antecedentes del estudio "Análisis para el mejoramiento del proceso de evaluación de proyectos de riego. Sistema de evaluación ex – post de proyectos de riego"; Universidad de Chile, 2007.

Cuadro N°D.4

Superficie con cultivos actuales y proyección de la situación con proyecto

Cultivos/Frutales/Otro	Superficie (ha)			Variación Porcentual	Superficie año n
	Sin Proyecto	Con Proyecto	Variación		
1					
2					
n					
Total					

Cuadro N°D.5

Superficie cultivada, por tipo agricultor y cultivo sin y con proyecto

	Grandes		Medianos		Pequeños		Total general	
Nombre Cultivo	Hectáreas	%	Hectáreas	%	Hectáreas	%	Hectáreas	%
1								
2								
n								
Total								

Cuadro N°D.6

Número de acciones y usuarios sin y con proyecto

Superficie de predios	Acciones		Usuarios	
	N °	%	N °	%
Menos de 2 H.R.E				
Entre 2 y 12 H.R.E.				
Entre 12.1 y 20 H.R.E.				
Entre 20.1 y 40 H.R.E.				
Entre 40.1 y 200 H.R.E.				
Total				

APÉNDICE E

ESTUDIOS COMPLEMENTARIOS EN PROYECTOS DE RIEGO

I. Estudios de Factibilidad

1. Trabajos complementarios de campo

2. Investigaciones básicas

3. Incidencias socioeconómicas de los proyectos individuales y del sistema

4 Demanda de agua potable

5 Demanda de agua industrial

6 Riego y planeamiento rural

7 Turismo y recreación

8 Regulación de los ríos y control de sedimentos y crecidas

9 Modelos matemáticos

10 Anteproyectos conceptuales de las obras hidráulicas

11 Selección de los proyectos básicos

12 Proyecto de riego

13 Evaluación económica de los proyectos y del sistema

14 Evaluación financiera de los aprovechamientos

15 Organización administrativa y aspectos legales e institucionales

16 Recomendación final

II. Sistema de aprovechamiento multipropósito de recursos hídricos

En este apartado se presentan, a título ilustrativo, los términos de referencia de un sistema de aprovechamiento de aguas cuyos propósitos principales son X, Y y Z.

El propósito de los estudios en este sistema será la formulación de un plan de aprovechamiento de los recursos hídricos en la zona A, con vistas a asegurar el abastecimiento de agua para los usos consuntivos de la industria, las poblaciones y el riego, y complementariamente generar energía eléctrica (si así fuera).

El plan debe incluir la elaboración de los proyectos generales de las obras previstas, los recaudos para licitar las mismas y el estudio de factibilidad técnico - económico - financiero que abarque la totalidad del programa propuesto, elaborado de acuerdo con las modalidades de los organismos financistas.

El programa de trabajo de los estudios deberá incluir por lo menos los siguientes puntos:

1. Trabajos complementarios de campo

1.*1 Estudios topográficos*

a) Relevamiento de los vasos. Por restitución aerofotogramétrica con triangulación de apoyo con curvas a nivel de equidistancia igual a 5 metros.

b) Complementación del relevamiento planialtimétrico en las áreas donde se ubicarán los acueductos y los sistemas de riego.

c) Alineación de las presas; incluyendo zonas de implantación de centrales, desvíos, vertederos, campamentos y caminos de acceso.

d) Relevamiento de detalle de las zonas de yacimientos de materiales.

e) Enlace y vinculación de las perforaciones del plan de trabajo de mecánica de suelos.

f) Relevamiento de los cauces y perfiles longitudinales de los ríos en los tramos especiales.

g) Relevamientos expeditivos de reubicación de caminos, vías férreas y otras obras de infraestructura.

h) Complementación del conocimiento catastral.

1.2 Estudios hidrográficos e hidrológicos

a) Secciones transversales de los ríos.

b) En el eje de las presas.

c) Cada 300 m aguas abajo hasta una distancia de 3 Km.;

d) Secciones a 100 y 300 m aguas arriba;

e) Secciones a cada kilómetro aguas arriba de las presas a lo largo del vaso o máximo embalse.

f) Determinaciones y registros complementarios:

(1) Velocidades y distribución de la corriente en el eje de las presas y 300 m aguas arriba y aguas abajo.

(2) Determinaciones físico - químicas de calidad.

g) Complementación de estudios de hidrología superficial y sedimentológica.

h) Complementación de estudios de hidrogeología:

(1) Perforaciones;

(2) Estudios hidrodinámicos;

(3) Determinación de reservas

1.3 Trabajos de mecánica de suelos

a) Análisis detallado y sistematización de toda la información existente.

b) Perforaciones a lo largo de los ejes de la presa.

c) Perforaciones para muestras inalteradas.

d) Perforaciones para ensayos de permeabilidad con cajas filtrantes.

e) Estudios de yacimientos de suelo y roca.

f) Estudios para determinación de agregados.

g) Relevamientos de las superficies de la roca por métodos geofísicos.

h) Determinaciones sismológicas.

i) Estudios de las subrasantes de las obras a reubicar y de los materiales para construirlas en su nueva traza

1.4 Estudios edafológicos

a) Recolección de información básica.

b) Fotointerpretación de áreas de influencia de los proyectos:

c) Análisis fisiográfico

d) Principales paisajes

e) Análisis de los elementos.

f) Trabajos de campo de correlación. Perforaciones y calicatas.

g) Mapa de aptitud de uso de los suelos (escala de trabajo 1: 50000)

2. <u>Investigaciones básicas</u>

2.1 Cartografía

2.2 Climatología

a) Climas y microclimas.

b) Regímenes de temperatura.

c) Regímenes de humedad.

d) Evaporación y evapotranspiración.

e) Precipitación.

f) Intensidad de las precipitaciones.

g) Análisis meteorológico sinóptico.

2.3 Hidrología

a) Estudios de carácter general:

b) Revisión y contraste de la información básica disponible;

c) Investigación hidrológica de los afluentes;

d) Evaluación de caudales sólidos.

e) Informaciones de entrada para los modelos de operación de las presas y estocásticos.

2.4 Geología y sismología

2.5 Evaluación de los trabajos complementarios de campo

2.6 Ensayos de laboratorio.

2.7 Demografía

3. Incidencias socioeconómicas de los proyectos individuales y del sistema

3.1 Delimitación de los espacios económicos alcanzados por los proyectos

3.2 Encuadre de los proyectos dentro del plan nacional o regional de desarrollo

a) Funciones y finalidades de las obras.

b) Planes de desarrollo agropecuario

c) Programas de desarrollo industrial.

d) Repercusiones del proyecto sobre los ingresos y egresos fiscales.

4. Demanda de agua potable

4.1 Análisis de la situación actual

4.2 Estudio de población

4.3 Nivel de eficiencia del suministro

4.4 Demanda de eficiencia actual y proyectada

4.5 Evaluación teórica de la demanda

a) Doméstica.

b) Comercial.

c) Pública.

d) Pérdidas.

5. Demanda de agua industrial

5.1 Análisis de la situación actual

a) Pequeña y mediana industria.

b) Grandes consumidores.

c) Fuentes actuales de suministro.

5.2 Localización de parques industriales

a) Tipos de industrias.

b) Evolución previsible.

c) Fuentes alternativas de abastecimiento.

5.3 Evaluación teórica de la demanda de agua para industrias

6. Riego y planeamiento rural

6.1 Áreas locales regables

6.2 Estudio del potencial agroecológico

a) Estudio agroclimático.

b) Selección ecológica de cultivos.

c) Restricciones actuales.

d) Nivel económico actual de los empresarios agrícolas.

e) Infraestructura agrícola.

f) Análisis estático de la zona.

g) Análisis dinámico de la zona.

h) Análisis de mercado para los productos agropecuarios

i) Clasificación de los productos según sus usos.

j) Calendario agrícola de los productos.

k) Información complementaria para la producción agroecológicamente factible.

l) Determinación de la curva de consumo para cada producto.

m) Análisis del régimen de precios.

n) Conclusiones del estudio de mercado.

6.3. Selección económica de cultivos

a) Optimización de las dotaciones de riego

b) Análisis de la explotación agrícola tipo

7. Turismo y recreación

7.1 Aptitud y características de los sitios

7.2 Estudios del mercado del turismo

7.3 Programa de actividades y planeamiento de las áreas

8. Regulación de los ríos y control de sedimentos y crecidas

8.1 Características de los ríos

8.2 Características granulométricas

8.3 Arrastre de fondo

8.4 Efectos de los embalses sobre el transporte de sedimentos

8.5 Control de las ondas de crecidas

8.6 Efectos aguas abajo de los controles de sedimentos y crecidas

9. Modelos matemáticos

9.1 Modelo matemático

9.2 Simulación propuesta de carácter hidrológico

a) Necesidad del análisis hidrológico de las cuencas superiores.

b) Simulación.

c) Evaluación de los datos de entrada.

9.3 Cálculo de las curvas de remanso

9.4 Modelo de operación de los embalses

a) Fases de operación.

b) Condiciones de Optimización.

9.5 Puentes y vinculaciones terrestres

9.6 Diques laterales de tierra

9.7 Consolidación e impermeabilización de las fundaciones

9.8 Procesos constructivos. Diseño y memoria

9.9 Programas de construcción, por proyecto y por sistema

10. Anteproyectos conceptuales de las obras hidráulicas

10.1 Criterio directriz en la determinación de alternativas

a) Alineación de presas.

b) Ubicaciones relativas de los elementos.

c) Alturas de presa.

d) Capacidad instalada.

e) Tipos de estructura.

f) Conducciones industriales.

g) Ubicación y dimensionado de dispositivos hidromecánicos.

h) Procedimientos constructivos.

i) Formulación de los proyectos conceptuales alternativos

k) Optimización del proyecto

l) Criterios de Optimización

m) Vinculación con los modelos matemáticos.

n) Procedimientos de Optimización.

ñ) Criterios de selección de los óptimos.

11. Selección de los proyectos básicos

11.1 Presas

a) Materiales.

b) Obras temporales de desvío.

c) Vertederos.

d) Obras accesorias y complementarias.

11.2 Conducciones industriales y acueductos

11.3 Centrales de energía

a) Equipamiento seleccionado.

b) Distribución en la central.

c) Estudios estructurales.

d) Selección de turbinas y estudios económicos.

e) Diseño de tomas y restituciones.

f) Canales de fuga.

12. Proyecto de riego

12.1 Programación

a) Selección económica de los cultivos.

b) Optimización de las dotaciones de riego.

c) Caudales a derivar para riego.

d) Tamaño y composición de la explotación tipo y sus variantes.

e) Localización y parcelamiento de los predios teniendo en cuenta el mapa de suelos.

f) Análisis y programación de la unidad productiva tipo y sus variantes.

g) Determinación de la modalidad más conveniente de localización de las viviendas familiares

h) Diseño de núcleos urbanos.

i) Vías de acceso y penetración.

j) Anteproyectos de obras

k) Obras hidráulicas de compensación y derivación.

l) Obras de toma y aforo.

m) Anteproyecto de canales matrices y principales.

n) Protecciones de márgenes y laderas.

ñ) Anteproyecto de redes de riego.

o) Red de desagües y drenaje.

p) Equipo de bombeo.

13. Evaluación económica de los proyectos y del sistema

13.1 Fundamentos básicos. Evaluación social

13.2 Procedimientos e índices de evaluación

13.3 Costos de oportunidad

13.4 Precio - sombra de las divisas.

13.5 Precio - sombra de la mano de obra.

13.6 Interés de actualización.

13.7 Prueba de oportunidad de cada uno de los proyectos

13.8 Período de evaluación

13.9 Determinación de los beneficios de los proyectos

13.10 Beneficios del riego

13.11 Combinación de cultivos y tamaño de la explotación agrícola.

13.12 Rentabilidad de los predios.

13.13 Abastecimiento de agua potable e industrial.

13.14 Producción de energía eléctrica.

13.15 Control de sedimentos.

13.16 Control de crecidas.

13.17 Recreación y turismo.

14. Costo de la inversión

14.1 Tamaño de los aprovechamientos hidráulicos individualmente y en conjunto.

14.2 Determinación de la inversión asignable a cada uno de los propósitos múltiples.

14.3 Cronograma de ejecución de los aprovechamientos.

14.4 Costos de operación:

a) Costos fijos, financieros, depreciación y seguros;

b) Gastos de operación y mantenimiento.

15. Resultados de los índices de evaluación

16. Análisis de estabilidad de los resultados

17. Evaluación financiera de los aprovechamientos

17.1 Análisis financiero del sistema de obras

a) Origen de los fondos: propios o de terceros

b) Costos de los fondos propios;

c) Origen de los fondos propios.

d) Fondos generados por el proyecto.

e) Fondos de terceros.

18. Capacidad de pago de los productores agropecuarios

18.1 Calendario de beneficios por tipo de parcela.

18.2 Presupuesto para las distintas parcelas tipo.

18.3 Asignación para mantenimiento del productor y familia.

18.4 Cuenta de caja de las distintas parcelas.

18.5 Capacidad de financiamiento externo a la unidad productora.

19. Programa financiero de la operación del proyecto

19.1 Proyección del cuadro de resultados del Ente Administrador.

19.2 Proyección de los estados financieros patrimoniales. Fuente y usos de fondos.

19.3 Prueba de consistencia de las proyecciones financieras.

19.4 Análisis de la capacidad de pago en términos del balance de pagos.

20. Análisis de estabilidad de los resultados

20.1 Régimen de tarifas y tasas

21. Organización administrativa y aspectos legales e institucionales

21.1 Organización del Ente Administrador

21.2 Análisis de la experiencia existente

21.3 Organización del Ente en la etapa de ejecución de las obras.

21.4 Organización del Ente en la etapa de explotación.

22. Estudio de los aspectos legales e institucionales

22.1 Problemas relativos a la construcción de las obras.

22.2 Problemas relativos a la explotación de los proyectos.

APÉNDICE F

ESTIMACIÓN DE BENEFICIOS POR EL MÉTODO DEL VALOR DEL PRODUCTO MARGINAL

Este método es de amplia difusión en riego por la relativa facilidad de aplicarlo, aunque es altamente sensible a pequeñas variaciones en los supuestos y especificaciones relativas a los rendimientos y precios de los insumos. Asimismo, si se omite algún atributo o insumo, erróneamente se asignarán mayores beneficios al agua, sobrestimando su valor o precio sombra[38]. Por otra parte, es importante tomar en cuenta que en el largo plazo todos los insumos son variables, pero en la práctica lo que se supone es que algunos de los factores están fijos, lo que indica que se está trabajando con funciones de corto plazo. Los resultados son diferentes en ambos casos, y se debe tener en cuenta potenciales variaciones en las dos estimaciones.

La disponibilidad de más agua permite que los agricultores aumenten su producción. El beneficio de tener más agua está dado por el valor social de la producción agrícola adicional: diferencia entre los excedentes agrícolas de las situaciones CP y SP, estimados sobre la base de las proyecciones de precios y rendimientos por hectárea. Para ello, se debe disponer de datos agronómicos y de mercado de los cultivos correspondientes a las situaciones CP y SP: patrones de cultivo, rendimientos y producción por hectárea. Esta forma de identificar los beneficios asociados a un proyecto de riego se basa en que la demanda de agua es una demanda derivada.

I. El agricultor como demandante de agua

Suponiendo un producto agrícola X, cuya producción requiere agua cruda y otros insumos, entonces:

$$Q\ (x) = f\ (A,\ iii)$$

Donde:

Q(x) es la cantidad producida del bien x;

A es la cantidad de agua utilizada en la producción del bien x;

iii son otros insumos de producción;

El productor está dispuesto a demandar el agua hasta el punto donde se encuentra la siguiente relación:

$$VPMgA\ (x) = P\ (x) = CMgA(x)$$

[38] Tal es el caso por ejemplo mano de obra familiar, que por no ser pagada no se valoriza como insumo sin considerar su costo de oportunidad y las diferentes "distorsiones" de mercado (impuestos, subvenciones y políticas de protección comercial) que hacen que los precios de los insumos no reflejen su verdadero valor (costo) social.

Dónde:

VPMgA(x) es el valor del producto marginal del agua en la producción del bien x[39];

Px es el precio del bien x;

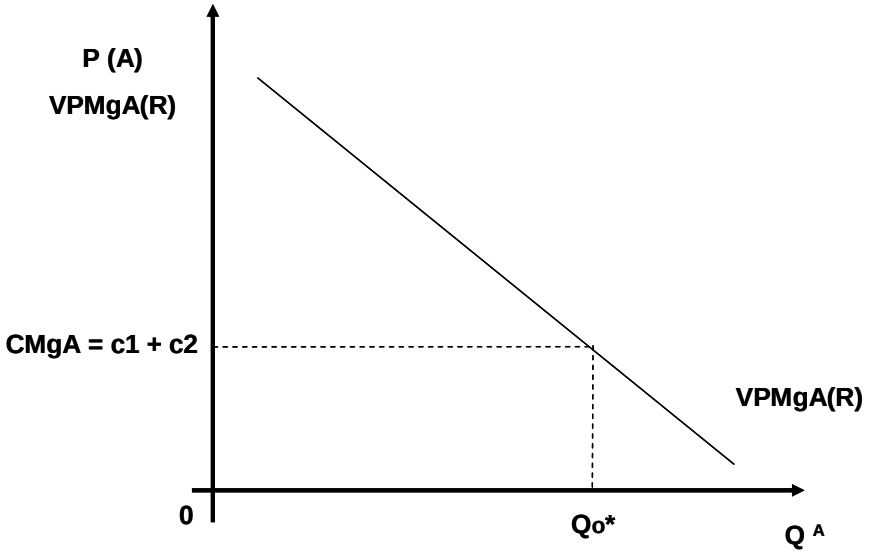
CMgA(x) es el costo marginal del agua en la producción del bien x;

El CMgA consta de dos partes: i) el costo marginal de la obtención de cada unidad de agua (**c1**) o una porción de costo adicional; ii) el costo marginal de la aplicación (**c2**) o el costo intrapredial.

La magnitud del primer componente ***c1*** depende de la fuente de abastecimiento (superficial o subterráneo), ya que cada una de ellas tiene diferentes costos. La magnitud de ***c2*** depende del sistema de aplicación utilizado por el usuario. El resultado de un productor individual está representado en la Figura N°F.1. El productor demanda la cantidad de agua Qo* por unidad de tiempo bajo los supuestos que: *i) la cantidad está determinada por su valor en el proceso de producción; ii) la cantidad depende de los costos para obtener cada unidad adicional de agua (c1 y c2 respectivamente).*

Figura N°F.1

Demanda de agua de equilibrio del productor agrícola



Fuente: Elaboración propia en base a "Metodología de Evaluación de Proyecto Hídricos". Claudia Botteon / CEPAL (2007).

Este esquema de razonamiento se utiliza para determinar la cantidad demandada de cualquier tipo de demanda. Sin embargo, en el caso particular del agua, puede haber características que se apartan de este marco general dado que la cantidad recibida por cada agricultor depende de los derechos de aprovechamiento que posee y del flujo hídrico si éste no se encuentra regulado[40].

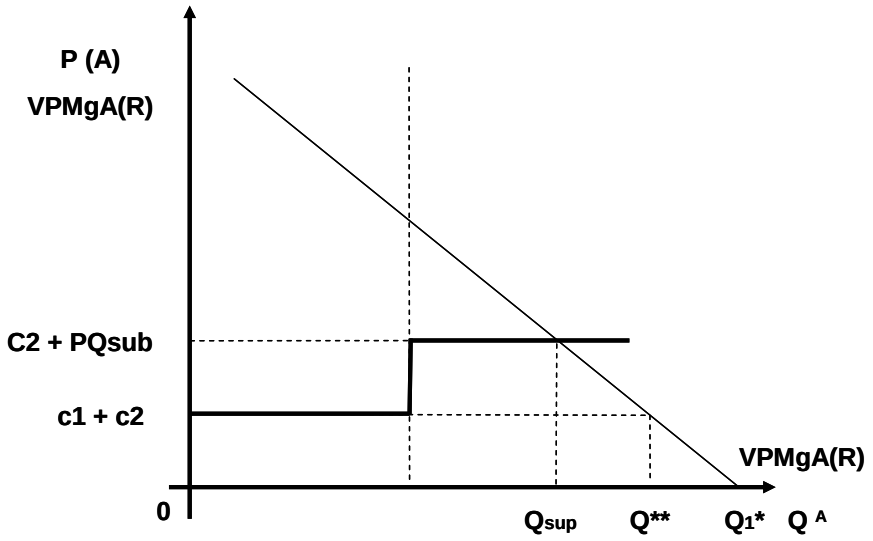
[39] El VPMgA puede obtenerse de la función de producción, derivando el producto total respecto a cantidades adicionales de agua, lo que determina la función de producto marginal, la cual debe multiplicarse por el precio del bien para obtener la función del valor del producto marginal.

[40] En tal caso, c1 = 0.

La restricción cuantitativa indica que el usuario debe cumplir con la cantidad de agua superficial que recibe. En algunos casos es posible asistir a otra fuente de suministro del recurso, como son las fuentes subterráneas. La Figura NAF.2 muestra este segundo caso. En la figura ***PQsub*** representa el costo de una unidad adicional de agua subterránea (este costo se asocia al volumen utilizado ya que se necesita para construir y operar un pozo, además de incurrir en el costo de la electricidad para la extracción; ello significa que ***c1*** tiene el valor de esta variable). ***Qsup*** es el volumen de agua superficial que utiliza el agricultor (cuyo costo marginal de producción incluso puede ser cero, si el pago no depende del servicio que consume). El tramo ***Q**-QSUP*** representa el uso de las aguas subterráneas utilizada para complementar el riego superficial. Dado que utilizar el agua de superficie no es una restricción (cantidad, calidad y oportunidad), el productor añade su dotación de agua subterránea, lo que resulta más costoso por unidad. Por esta razón, utiliza Q**, menos unidades de agua respecto a si no hubiere restricciones (Q*1).

Figura NAF.2

Demanda de agua en equilibrio del productor agrícola con abastecimiento complementario



Fuente: Elaboración propia en base a "Metodología de Evaluación de Proyecto Hídricos". Claudia Botteon / CEPAL (2007).

II. El productor como oferente de productos agrícolas

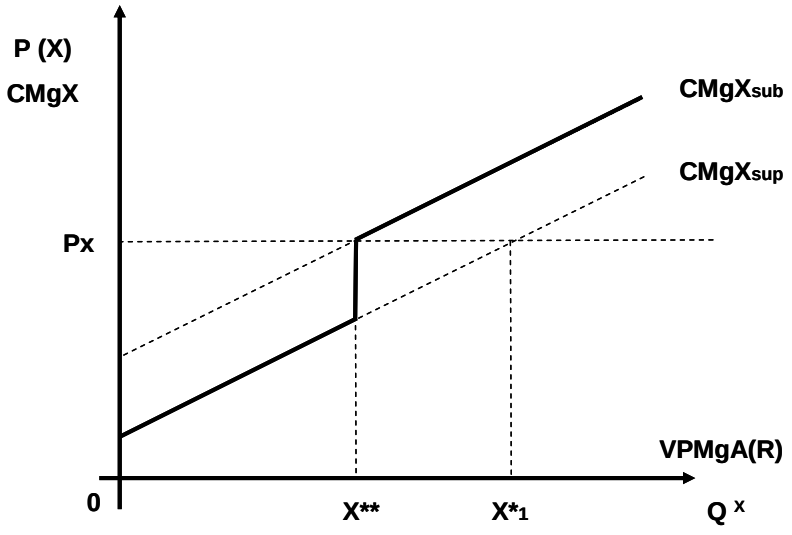
La conducta del productor, determinada por sus restricciones de agua cruda, tiene consecuencias directas en la producción. Así, menor uso de agua dará lugar a niveles de producción más bajos. Incluso, la restricción puede inducirlo a dejar algunas hectáreas de secano. Suponiendo que son tomadores de precios en el mercado agrícola, los productores enfrentan una curva de oferta ***CMgXsup***, que representa el costo marginal de producir el bien X cuando usa agua superficial con una restricción cuantitativa[41]. Por ello, si opera una restricción de agua superficial, desplaza su curva de oferta a ***CMgXsub***, que refleja el mayor

[41] En este costo, además de c1 y c2 deben sumarse los correspondientes a los otros insumos utilizados en la producción.

costo unitario de agua subterránea. En dicha circunstancia, produce ***X*****, una cantidad menor a la que habría producido sin restricción (***X*1***) y vende a Px [42] (Figura NAF.3).

Figura NAF.3

Oferta de equilibrio del productor agrícola



Fuente: Elaboración propia en base a "Metodología de Evaluación de Proyecto Hídricos". Claudia Botteon / CEPAL (2007).

III. Efectos del proyecto sobre los "precios" del agua y de los productos agrícolas

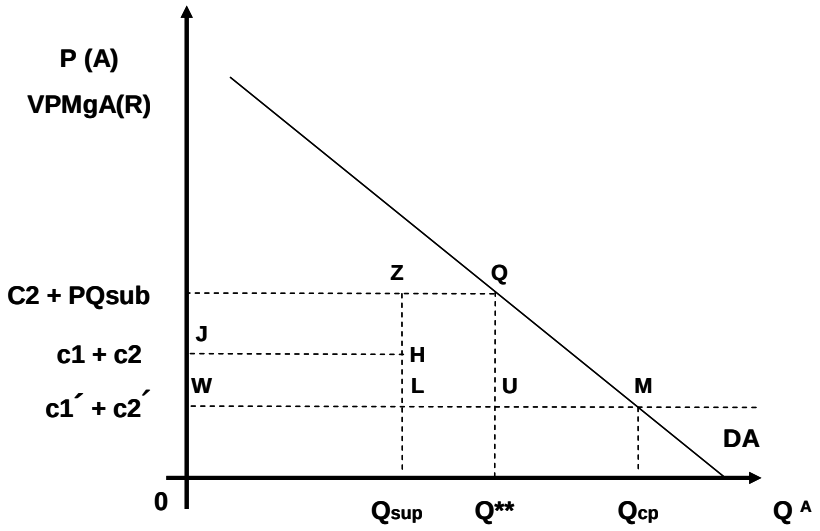
El desarrollo del proyecto causa dos efectos: i) ***ahorro de costos*** (***c1***), porque el productor deja de bombear aguas subterráneas; ii) ***reducción de costos*** (***c2***) por la disminución de los *costos de transporte y distribución* del agua; por las *mejoras en el sistema de riego* (menores gastos de reparación y limpieza de canales) y por los *menores costos de producción* (el usuario dispone del agua en el momento que la necesita y puede cambiar su sistema de riego hacia uno más eficiente). El segundo componente es capturado de inmediato por el usuario mientras que el primero depende del sistema de tarifas vigente.

En la Figura NAF.4 se observan los citados efectos; en la situación Con Proyecto el agricultor demanda Qcp de agua, mayor que Q**, ya que puede obtener y aplicar agua a un costo marginal más bajo debido a la reducción de *c1* y *c2* a *c1'*y *c2'*, respectivamente. La magnitud de la mejora en el flujo significa que el productor tiene suficiente agua superficial para satisfacer toda su demanda de esa forma. El aumento en el consumo de agua desde Q** a Qcp implica un beneficio para el país debido a que al aumentar la cantidad de agua utilizada, los agricultores producen más bienes.

[42] Los niveles de producción X^*_1 y X** son los correspondientes a las cantidades demandas Q^*_1 y Q**, respectivamente.

Figura NAF.4

Demanda de agua CP de equilibrio del productor

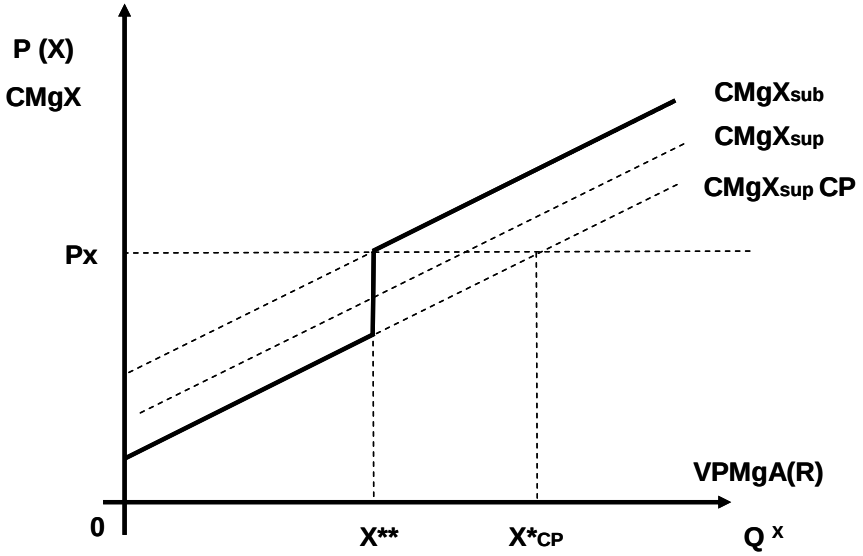


Fuente ambas figuras: Elaboración propia en base a "Metodología de Evaluación de Proyecto Hídricos". Claudia Botteon / CEPAL (2007).

El valor de esta producción adicional está dada por el área bajo la curva de demanda de agua, entre las cantidades Q** y Qcp. En la nueva situación CP se produce ***Xcp***, que es una cantidad superior a la obtenida SP. Esta producción se asocia con ***Qcp*** en la Figura NAF.5.

Figura NAF.5

Oferta CP de equilibrio del productor



Fuente ambas figuras: Elaboración propia en base a "Metodología de Evaluación de Proyecto Hídricos". Claudia Botteon / CEPAL (2007).

La producción adicional implica una serie de costos de compra de insumos (semillas, mano de obra, fertilizantes, pesticidas, arriendo de maquinaria, salarios) y también es probable que

se adquieran y/o construyan otros bienes durables como galpones y maquinaria. Dichos costos son legítimamente atribuibles al proyecto y por ello deben ser cargados en la situación CP. Asimismo, deben ajustarse los beneficios en función del momento esperado en el cual se materializarán; es decir, éstos se producen gradualmente a medida que los usuarios adaptan sus sistemas de riego.

APÉNDICE G

ESTIMACIÓN DE BENEFICIOS POR EL MÉTODO DEL VALOR INCREMENTAL DE LA TIERRA

El beneficio directo del proyecto de riego corresponde al incremento del valor neto de mercado del valle beneficiado, el cual cambia su estructura de cultivos. El beneficio vía incremento de precios de la tierra es privado y social; en términos privados, el incremento de precios es instantáneo; incluso, se produce parcialmente con el solo anuncio o conocimiento público de que el proyecto se realizará. Esta alza de precios afecta a la totalidad del valle beneficiado, independiente de las decisiones productivas de cada agricultor en particular, ya que el mercado fija su precio sobre la base de las expectativas o potencialidades productivas.

Desde el punto de vista privado, el precio de mercado de la tierra equivale al valor presente de los beneficios futuros agrícolas, descontados a la tasa de descuento privada pertinente para el nivel de riesgo de dicha actividad:

$$PTierra = \sum_{t=0}^{n} \frac{BN_t}{(1+r)^t}$$

Desde el punto de vista social en cambio, lo relevante son los flujos de los beneficios netos agrícolas efectivos y no potenciales, ya que el beneficio bruto social es el incremento de consumo o la mayor disponibilidad de divisas producto de la producción adicional generada por el proyecto. Sí los agricultores demoran tres años en incorporar el riego a sus actividades productivas, durante ese lapso, la producción en las situaciones SP y CP es igual y por lo tanto, no existe incremento del excedente agrícola que determine el beneficio social (no obstante, "privadamente" el precio de la tierra subió y cada agricultor beneficiario es "más rico" pues su tierra vale más). Atento a ello, el MVIT no escapa a la necesidad de establecer una tasa de incorporación al riego para su evaluación social, tasa que debiera ser la misma utilizada por el MP.

En relación a la ***tasa de descuento***, la evaluación social debe utilizar la tasa de descuento social, la que probablemente, diferirá de la tasa de mercado. Esto implica realizar un ajuste a los precios privados de la tierra para obtener los precios sociales de la tierra. En la medida que se trate de pequeños agricultores de subsistencia, este proceso puede encontrar dificultades y demoras adicionales, las que deben tenerse en consideración al momento de la evaluación. Asimismo, además de los beneficios directos indicados, dado que los beneficios del proyecto se estiman a partir de precios de mercado, en la evaluación social deben incorporarse todos los efectos secundarios, indirectos y externalidades.

I. Estimación del área potencial beneficiaria del proyecto

La aplicación de la metodología MVIT supone valorar las hectáreas agrícolas del área de influencia del proyecto tanto en la situación SP como en la CP. El área potencial corresponde a la zona de influencia del proyecto y se obtiene a partir de la clasificación de las tierras de la zona de interés en función de los actuales sistemas de producción agropecuaria, tipo de suelo y disponibilidad y seguridad de agua para riego[43].

[43] Lo relevante para el evaluador cuando proceda a la aplicación del MVIT es que debe conocer al máximo el mercado de la tierra agrícola en el área de interés, bajo el supuesto de que éste se encuentra en equilibrio para definir la situación esperada o más probable. Esta aproximación empírica permite sintetizar a través de los tipos de

La clasificación de los terrenos del área de influencia en la situación CP implica un cambio en el uso agrícola de las tierras en función de la mayor disponibilidad y/o seguridad de agua para riego. Así se obtiene una nueva estructura de terrenos y de cultivos, como consecuencia que el proyecto elevó la categoría de los suelos, asociando así un mayor precio a la hectárea de terreno.

Esta actividad implica la realización de las siguientes acciones:

- Clasificar la superficie del área de interés en función de la calidad del suelo agrícola (Figura N°G.1).
- Combinar cada tipo de suelo clasificado con la disponibilidad de agua y seguridad de riego. Se deben distinguir las hectáreas según disponibilidad y tipo de derechos de aprovechamiento de agua (permanente o eventual) y de las hectáreas sin disponibilidad de agua para riego (tierras de secano).
- Clasificar la estructura de cultivos de la zona de interés (frutales, cultivos multianuales, cultivos anuales y praderas naturales).

Figura N°G.1

Clasificación de terrenos agrícolas zona de estudio (hectáreas)

Tipo de Suelo	Tipo de riego	Tipo de cultivo
Grupo A1	Seguro	Frutales
Grupo A2	Eventual	Cultivos anuales
Grupo B1	Seguro	Cultivos multianuales
Grupo B2	Eventual	Cultivos anuales
Grupo B3	Sin riego	Sin cultivo
Grupo D1	Seguro	Cultivos anuales
Grupo D2	Eventual	Praderas naturales
Grupo D3	Sin riego	Sin cultivo
Total		

Fuente: Elaboración propia en base a antecedentes varios.

Las información primaria se debe obtener a partir de las siguientes fuentes de datos (al menos): i) estudio/s de la cuenca de interés, de las fuentes de agua y zonas de riego asociadas que haya formulado la Comisión Nacional de Riego (CNR) u otro organismo público o privado; ii) estadísticas agropecuarias en el área de influencia del proyecto y contrastada con la información sobre derechos de aprovechamiento de agua obtenidos de la Dirección General de Aguas (DGA). Si se requiere complementar o validar las anteriores fuentes se deben realizar encuestas a los potenciales beneficiarios (agricultores).

cultivos observados, un conjunto de variables que inciden en dicha decisión: rentabilidades actuales y esperadas de los productos agrícolas, aptitud del suelo, niveles de riesgo y disponibilidad y seguridad de riego.

II. Determinación precios de terrenos de la zona de influencia

Se deben determinar los precios de las tierras agrícolas de toda la zona de influencia del proyecto, tanto para la situación SP como CP. La clasificación de los terrenos del área de influencia en la situación SP se realiza sobre la base de la clasificación genérica de terrenos de la zona conocida.

A cada tipo de terreno y riego antes definido se le debe establecer su precio por hectárea, neto de inversiones para aislar completa y exclusivamente el efecto precio del atributo agua para riego. Los valores o precios serán netos de inversiones, esto es, al valor de transacción del terreno, se descuentan los valores de todas las inversiones puestas en él: infraestructura (bodegas y edificaciones), obras hidráulicas intra-predial, plantaciones de frutales, cultivos multi-anuales. Además, se deben descontar los costos de oportunidad por el tiempo en que algunos cultivos no generan beneficios. Esta actividad requiere la aplicación de alguna de las tres técnicas que se desarrollan a continuación.

a. Método de las Transacciones

Debe disponerse de un número significativo de transacciones de terrenos agrícolas, que permita establecer los precios de mercado para los diferentes tipos de terrenos y riego. Para ello se sugiere el siguiente procedimiento: i) ***identificación de transacciones:*** la totalidad de las transacciones de títulos de tierra deben legalmente quedar inscritas en el Conservador de Bienes Raíces jurisdiccional con indicación de comprador y vendedor, precio de venta, superficie vendida, deslindes y otros antecedentes, con lo cual se dispone del universo de transacciones realizadas en el periodo de interés.; ii) ***depuración de los precios de las transacciones***: Dado que lo que se inscribe es el título de dominio de la tierra (casco), no se especifica los contenidos en superficie como son construcciones, plantaciones y otros y la disponibilidad y seguridad de agua para riego. Para ello se requeriría acudir al Archivo Judicial y revisar la escritura de compraventa, donde, generalmente, se detalla dicha información, y /o hacer una visita a los predios identificados y entrevistar a sus dueños para obtenerla. De esta forma se podrá depurar del precio de transacción las inversiones en construcciones, infraestructura y plantaciones.

b. Método Indirecto

Una forma alternativa y complementaria de obtener el precio de la tierra es acudir a los Corredores de Propiedades, quienes a través de la experiencia obtenida en su actividad diaria de compra y venta de terrenos agrícolas, poseen un conocimiento del mercado que los habilita para efectuar tasaciones de los diferentes tipos de tierra y riego asociado; también existen *Tasadores de Terrenos* que son profesionales especializados en esa actividad. Complementariamente la revisión y ordenamiento de los avisos de compra y venta de terrenos publicados en periódicos de la zona o de circulación nacional durante el periodo de interés, se puede extraer una base de precios para los diferentes tipos de terrenos. Este método entrega valores menos confiables que el método de las transacciones pero es de más fácil aplicación.

c. Método de Tasación Fiscal

Para fines impositivos, el Servicio de Impuestos Internos (SII) posee un catastro de los bienes raíces agrícolas en el cual se identifica el predio, el tipo de suelo y superficie, el avalúo del terreno, las construcciones y obras complementarias y datos específicos de las construcciones

como son la superficie construida, año de construcción, número de pisos y destino, todo lo cual se refleja en su avalúo. La fortaleza de este método radica en que separa claramente lo que es el valor del terreno (casco) del valor correspondiente a las instalaciones y obras complementarias, lo que es fundamental para el objetivo buscado. Los valores de terrenos y construcciones se actualizan periódicamente de acuerdo a un vector de atributos y precios unitarios, con lo cual se busca mantener su valor real. Su debilidad radica en que se origina en tasaciones expertas (no precios de mercado), las cuales pueden no estar actualizadas.

En ausencia de información confiable de precios de los terrenos agrícolas en la zona de interés, se sugiere utilizar el Método de Tasación Fiscal dada su disponibilidad en medios computacionales y su universalidad, combinándolo con el Método de Transacciones, con el objeto de ajustar los diferenciales de precios del SII entre los diferentes tipos de terrenos y de riego a la realidad actual del mercado. Esto se puede lograr con una muestra relativamente reducida de transacciones de terrenos (Figura N°G.2, ejemplo).

Figura N°G.2

Precio de terrenos netos de inversiones

Tipo de Suelo	**Precio por Hectárea (millones $ / ha)**
Grupo A1	6,5
Grupo A2	5,0
Grupo B1	5,3
Grupo B2	4,0
Grupo B3	1,5
Grupo D1	2,0
Grupo D2	1,2
Grupo D3	0,1

Fuente: Elaboración propia en base a antecedentes varios.

III. Cuantificación y valoración de beneficios

En la situación SP se definen para cada alternativa de tamaño de proyecto el área de influencia específica; es decir, la superficie que sería regada por el proyecto (Figura N°G.3).

A partir de los antecedentes de superficie por tipo de suelo y precios respectivos se obtiene el valor del área de influencia de la alternativa de tamaño que se está evaluando, el que corresponde al valor del valle en la situación SP. Figura N°G.4.

Figura N°G.3

Superficie sin proyecto

Tipo de Suelo	**Superficie** (Hectáreas)
Grupo A1	3.855
Grupo A2	5.345
Grupo B1	2.240
Grupo B2	6.850
Grupo B3	3.500
Grupo D1	2.800
Grupo D2	6.000
Grupo D3	5.500
TOTAL	**36.090**

Fuente: Elaboración propia en base a antecedentes varios.

Figura N°G.4

Valor terrenos situación SP

Tipo de Suelo	**VALOR** (millones $)
Grupo A1	25.058
Grupo A2	26.725
Grupo B1	11.872
Grupo B2	27.400
Grupo B3	5.250
Grupo D1	5.600
Grupo D2	7.200
Grupo D3	550
TOTAL	**109.655**

Fuente: Elaboración propia en base a antecedentes varios.

En la situación CP la mayor disponibilidad de agua y/o seguridad de riego provocará un ascenso de categoría en la clasificación de los terrenos agrícolas y un aumento en superficie regada en relación a la situación SP. De esta forma, para cada alternativa de tamaño se genera una nueva clasificación de terrenos que difiere de la existente en la situación SP (Figura N°G.5).

Figura N°G.5

Superficie terrenos situación CP

Tipo de Suelo	Superficie (Has)
Grupo A1	6.855
Grupo A2	2.345
Grupo B1	6.440
Grupo B2	5.050
Grupo B3	1.100
Grupo D1	6.800
Grupo D2	5.500
Grupo D3	2.000
TOTAL	**36.090**

Fuente: Elaboración propia en base a antecedentes varios.

Como en el caso de la situación SP, en la situación CO mediante el mismo procedimiento anterior se obtiene el valor de los terrenos (Figura N°G.6).

Figura N°G.6

Valor terrenos situación CP

Tipo de Suelo	**VALOR** (millones $)
Grupo A1	44.558
Grupo A2	11.725
Grupo B1	34.132
Grupo B2	20.200
Grupo B3	1.650
Grupo D1	13.600
Grupo D2	6.600
Grupo D3	200
TOTAL	**132.665**

Fuente: Elaboración propia en base a antecedentes varios.

El área de influencia o valle del proyecto, corresponde a la superficie agrícola que será afectada positivamente por el proyecto producto a la disponibilidad y/o seguridad de riego que tendrá. La definición del área de influencia se selecciona en función de los resultados de la evaluación socioeconómica, es decir, corresponderá a la alternativa de tamaño de embalse que maximiza el VAN el proyecto. Este resultado significa que se ha obtenido la combinación óptima entre el área de influencia y tamaño del embalse. Mediante un modelo de simulación matemático es posible evaluar cada alternativa o combinación y así encontrar dichos óptimos.

A partir de las superficies y precios por hectárea definidos para cada tipo de terreno de las situaciones con y sin proyecto, se procede a la estimación de los beneficios agrícolas del

proyecto. Luego, el valor de los beneficios netos agrícolas del proyecto corresponderá al diferencial de los valores de los terrenos agrícolas de las situaciones CP y SP; es decir:

$$BN = \Delta [VTA]$$

Donde:

BN son los beneficios netos agrícolas que genera proyecto

Δ [VTA] es el incremento de beneficios o precios de terrenos de la zona de influencia como consecuencia del proyecto.

El cálculo de la rentabilidad del proyecto requiere estimar los costos de inversión del proyecto, tanto extraprediales como intrapredial y el flujo de los costos de operación y mantención de la infraestructura de riego. Los costos del proyecto asociados a cada alternativa de proyecto se obtienen de los estudios de ingeniería respectivos o en parámetros de costos obtenidos de proyectos similares cuando el monto de la inversión no amerite gastos en ingeniería[44], esto es, de los estudios de ingeniería del proyecto (proyecto de embalse), de presupuestos y cotizaciones para proyectos medianos como (prolongación de canales de distribución) o de parámetros y coeficientes industriales para proyectos menores (apertura de un par de pozos).

[44] En materia de costos del sistema de riego, la metodología del Valor Incremental de la Tierra es idéntica a la del Método del Presupuesto, en cuanto no innova en esa materia.

3 – METODOLOGÍA DE ESTIMACIÓN DE BENEFICIOS POR GENERACIÓN HIDROELÉCTRICA

El sistema de suministro eléctrico comprende el conjunto de los recursos y elementos útiles para la generación o transformación, transporte y distribución de electricidad.

I. Diseño del proyecto

Los estudios de topografía, geología y geotécnica del terreno e hidrología constituyen la base para el diseño del proyecto hidroeléctrico. En el caso de la hidrología, deben considerarse los registros de caudal diario, el diagrama de las curvas de variación estacional y la matriz de flujo mensual promedio para la simulación de la operación de la planta.

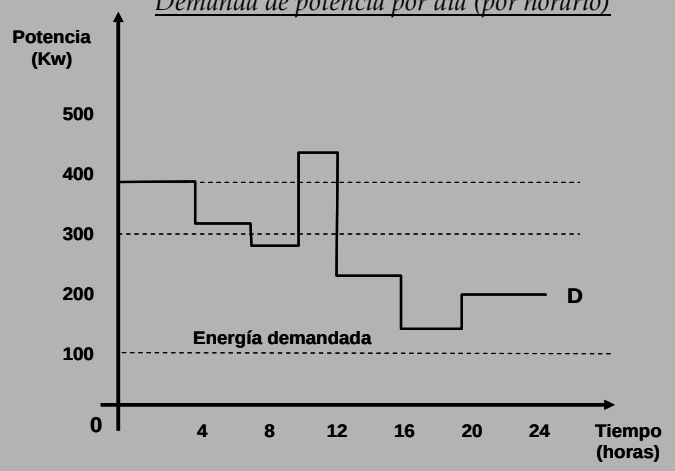
i. Requerimientos de energía

Los principales usos de la energía se clasifican en: i) *Consumo intermedio* para generación, transmisión, distribución y almacenamiento); ii) *Consumo final* para usos residenciales, comerciales, transporte público, agricultura, industria, etc.; iii) *pérdidas de energía* en transmisión, distribución y transformación (centros de procesamiento). Por otra parte, el tamaño de la central (y el embalse asociado) dependen de los requerimientos de energía y potencia.

La potencia se refiere a la capacidad de desarrollar trabajo mecánico determinado; por tanto, el requerimiento de energía es la potencia instantánea que requieren los dispositivos al mismo tiempo, expresada en watts (vatios), kilovatios (Kw.) o megavatios (MW). Para establecer el tamaño de la turbina-generador debe determinarse el requerimiento máximo de potencia (mayor demanda prevista en relación con el tiempo en que los aparatos eléctricos están conectados al sistema; se expresa en vatios-hora, kilovatios-hora o megavatios-hora). (Figura N°3.A).

Figura N°3.A

Demanda de potencia por día (por horario)



Fuente: Elaboración propia en base a antecedentes varios.

La estimación de los requerimientos de energía comprende el análisis de los siguientes usos:

a) ***Consumo residencial***; requiere información de: i) tipo y número de casas y edificios, sobre la base de una proyección de la población actual y futura; ii) pronóstico de competencias y horas diarias de disparo de los dispositivos eléctricos de cada tipo de vivienda y construcción, iii) tiempo de distribución de la carga residencial.

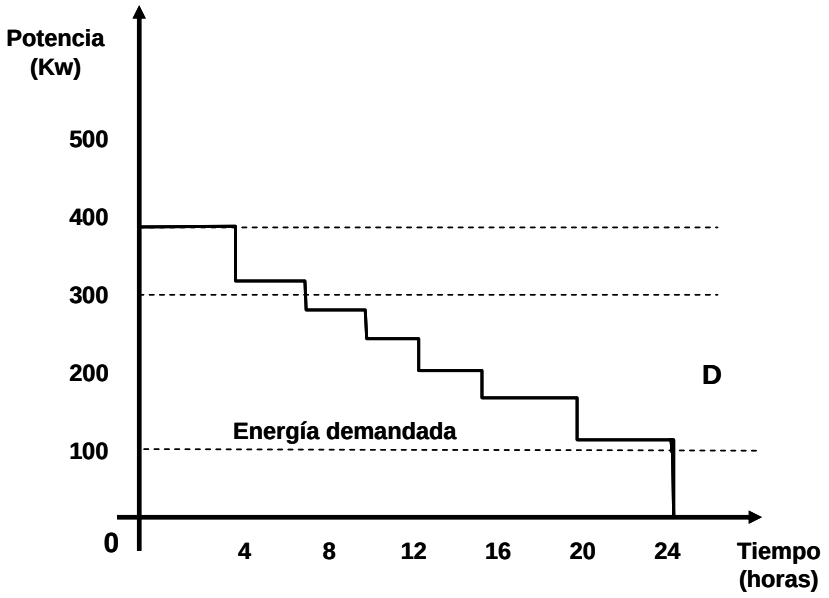
b) ***Consumo de energía para el alumbrado público***; requiere la siguiente información: i) estimación de los puntos de iluminación, de acuerdo a la distribución de la población; ii) número de vatios por punto de iluminación de las calles y las horas de cocción.

c) ***Consumo con fines comerciales e industriales***; requiere la siguiente información: i) tipo y número de establecimientos comerciales e industriales; ii) pronóstico de las competencias y las horas diarias de aparatos de iluminación y maquinaria; iii) identificación de los factores de coincidencia, iv) tiempo de distribución de la carga comercial e industrial; v) potencia requerida por los aparatos eléctricos y artefactos, y el número de horas de uso en un día típico o representativo; vi) total de los dispositivos de poder que requieren diferentes demandas, de acuerdo con el número estimado de cada uno.

d) ***Número de horas y distribución*** oportuna de los mismos para ser conectado al sistema.

Figura N°3.1

Demanda de potencia por día (por consumo)



Fuente: Elaboración propia en base a antecedentes varios.

Para la estimación de los requerimientos de energía se utilizan en general dos métodos: i) ***switch***; supone que la demanda de la zona de influencia se comporta de

manera similar a otros campos de características similares; ii) ***econométrica***: estima el consumo de energía en el futuro. La curva resultante (contorno de la Figura 3.1) se denomina ***cargos por demanda***. El área bajo la curva es la demanda de energía durante el día. También se puede calcular para otro horizonte de tiempo (mensual o semestral). La forma de esta curva es muy importante, ya que no basta con saber qué cantidad de energía consumida existe en un día, además es necesario conocer cómo se distribuye en esa cantidad de tiempo. La llamada ***curva de las cargas en orden descendente***, corresponde a la suma de horizontal de las cargas requeridas a diferentes horas del día se presenta en la Figura N°4.1 muestra la curva diaria decreciente. El área bajo la curva representa el requerimiento diario de energía.

La mayor carga sirve como punto de referencia para la determinación de las necesidades de capacidad de la planta. La potencia media se calcula dividiendo la energía demandada (área bajo la curva) por las 24 horas del día:

$$PM = E / 24$$

Donde:

PM es la potencia media en la energía Kw. o kilovatio;

E en kilovatios/hora kilovatio por hora.

En definitiva, para la determinación del "tamaño óptimo" del requerimiento de energía se requiere un estudio de consumo que refleje lo más fielmente el uso potencial de la energía.

ii. Capacidad generada

La determinación del suministro de energía implica identificar las condiciones actuales del servicio que el proyecto va a suministrar. En caso de grandes centrales de generación de energía, podría esperarse que el proyecto reemplazara una fuente de producción de mayor costo unitario de producción (este caso se analiza en el Apéndice D). En tal caso, las centrales hidroeléctricas pertenecen a un sistema conjunto de producción de energía eléctrica, que incluye centrales hidroeléctricas, termoeléctricas (gas, petróleo y carbón, entre otras), solar y eólica[45], el proyecto de generación hidroeléctrica provoca un beneficio por la liberación de recursos, bajo el supuesto (de alta probabilidad de ocurrencia) que reemplazará otra fuente de generación de mayor costo[46].

No obstante, a los fines de la presente metodología, se simplificará el análisis suponiendo que cuando el proyecto aporta al Sistema Interconectado Nacional (SIN) es tomador de precios; es decir, no afecta la oferta total de energía del sistema.

[45] Si bien no son alternativas existentes en Chile, otros sistemas de provisión de energía eléctrica incluyen nuclear, geotérmica y mareomotriz, entre otras.

[46] Esta liberación de recursos (beneficio social) es constante, aunque no el precio nudo de producción de energía eléctrica, bajo el supuesto que a medida que se construyan nuevas centrales, éstas serán más eficientes y por tanto ocuparán la base de la curva de demanda del sistema (en el límite ello supone que en algún momento la central que está siendo valorada será sustituida parcial o totalmente por centrales más eficaces y por lo tanto su valor será cero cuando el tiempo tiende a infinito).

Asimismo, se analizará el caso en el cual el proyecto aporta energía para autogeneración de bajo requerimiento (domiciliaria), por lo cual reemplaza otras fuentes alternativas de producción domésticas de energía.

II. Beneficios netos del proyecto de generación hidroeléctrica

i. Beneficios por venta de energía en el SIN

Suponiendo que el proyecto es de una magnitud tal que ***no afecta el precio de equilibrio*** y que puede vender toda su producción al precio fijado por el Centro de Despachos de Cargas (CEDEC), el principal beneficio del proyecto está dado por el aumento de consumo. Conceptualmente, este beneficio debe medirse a partir de la curva de beneficio marginal social del consumo, es decir, el área debajo de la curva de demanda social. No obstante, dada la complejidad que implica estimar tales curvas de los usuarios del sistema, puede aproximarse este beneficio a través de las ventas de la energía. De esta forma, los beneficios netos del proyecto corresponden a la venta de la energía producida, deducidos los costos de producción e inversión: i) construcción de infraestructura, canales, túneles; ii) tuberías de aducción; iii) salas de máquinas, equipos eléctricos o de energía mecánica de la turbina, generador; iv) transformador de potencia, control y restitución de obras de la subestación de agua y patios; v) líneas de transmisión eléctrica; vi) obras complementarias: caminos, talleres y otros. Además, en el flujo de caja del proyecto deben incluirse los costos correspondientes a operación y mantenimiento de la planta hidroeléctrica.

El beneficio neto directo por generación de energía en un proyecto que es tomador de precios será igual a:

$$BNDGE = \sum_{i=0}^{n} \frac{(PNMw/h * QMw/h)_i - Io(Mw/h)_i - (\sum_{j=1}^{m} DA_j * VDA_j)_i - (COM(Mw/h) * QMw/h))_i + \Delta BR - \Delta CDFCC}{(1*r)^i}$$

Donde:

BNDGE es beneficio neto por generación eléctrica;

PNMw/h es precio nudo del megavatio/hora vendido por la central en el período *i*;

QMw/h es la cantidad de megavatios/hora vendido por la central en el período *i*;

Io(Mw/h) son las inversiones en capacidad instalada y de mantenimiento mayor que debe llevar a cabo la central durante el horizonte de vida del proyecto y que es función de la provisión de megavatios/hora;

DA_j son los derechos de aprovechamiento tipo *j (no consuntivos)* que el sistema debe comprar (o arrendar) para producir energía en el período *i*.

VDA_j es el valor o precio de los derechos de aprovechamiento tipo *j (no consuntivos)* que el sistema debe comprar (o arrendar) para producir energía en el período *i*.

m es el total de derechos de aprovechamiento no consuntivos.

COM(Mw/h) son los costos de operación y mantenimiento menor que debe llevar a cabo la central durante el horizonte de vida del proyecto y que es función de la provisión de megavatios/hora;

ΔBR es el beneficio neto por aumento de las áreas de riego por liberación de agua para generar electricidad;

ΔDFCC es el costo adicional en defensa fluvial y control de crecidas por liberación de agua para generar electricidad;

r es la tasa social de descuento pertinente;

n es el horizonte de evaluación del proyecto;

Los costos atribuibles al proyecto se refieren a los costos sociales de los recursos productivos que intervienen en su ejecución y aplicación, es decir, la inversión que se necesita (medido en términos sociales) y los costos sociales de operación y mantenimiento del nuevo sistema de generación de energía. Las partidas de gastos imputables a los proyectos hidroeléctricos son:

*) ***Costos de inversión***: relacionados con el propósito de la energía tienden a tener altos costos de inversión que están dotados de infraestructura y equipamiento hidráulico mecánico o eléctrico. Por Ejemplo obras civiles y equipos, obras de infraestructura, canales, túneles o tuberías de aducción, salas de máquinas, equipos eléctricos o de energía mecánica de la turbina, , generador, el transformador de potencia, control y restitución de obras de la subestación, patios y líneas de alta tensión y obras complementarias tales como caminos, poblaciones, talleres y otros.

*) ***Gastos correspondientes al equipo hidráulico*** mecánico o eléctrico. Por ejemplo, turbinas, generadores, transformadores de potencia, control y subestación. Estos costos se derivan de los cálculos de ingeniería, donde se considera un presupuesto en términos de cantidades de insumos y factores necesarios, que luego son evaluados. Así también debe elaborarse un calendario detallado de cada uno de los elementos de inversión.

*) ***Costos de operación y mantenimiento***: costes variables de generación por kilovatio producido, los gastos de administración y ventas.

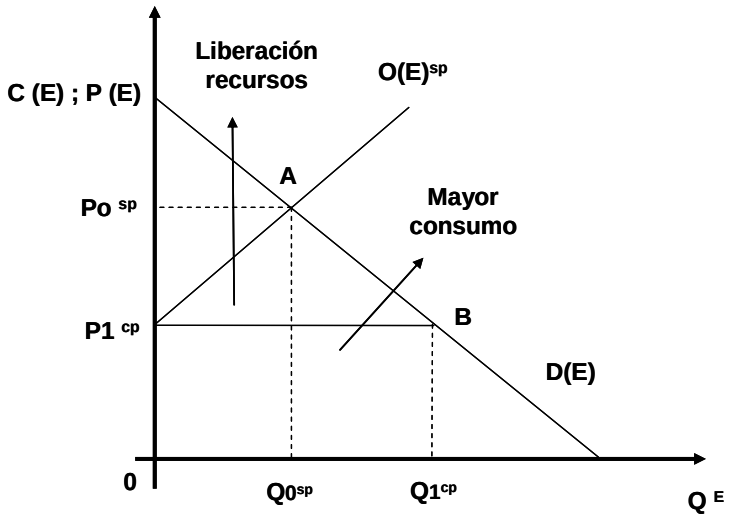
ii. Beneficios por producción de energía para autogeneración

Cuando el proyecto provee energía que satisface ***necesidades de autogeneración y consumo doméstico*** el beneficio está dado por los menores costos que el país dejará de incurrir para producir energía a partir de otras fuentes. La Figura N°3.2 presenta las situaciones SP y CP, suponiendo la operación de una tecnología alternativa de mayor costo (por ejemplo generador eléctrico en base a combustible fósiles, de mayor costo unitario de producción que la energía hidroeléctrica).

En la situación SP el equilibrio está dado por A, consumiéndose Qo^{sp} a un precio $P0^{sp}$; con el proyecto, el equilibrio se establece en B, con mayor consumo ($Q1^{cp}$) y menor precio (o costo, $P1^{cp}$). De esta forma, el beneficio por liberación de recursos corresponde al área $0P1^{cp}AQo^{sp}$, mientras el beneficio por mayor consumo está dado por el área $Qo^{sp}ABQ1^{cp}$.

Figura N°3.2

Equilibrio en la situación CP y SP



Fuente: Elaboración propia en base a antecedentes varios.

Esta liberación de recursos es constante en el corto y mediano plazo, pero puede alterarse en el largo plazo bajo el supuesto que a medida que se construyan nuevas centrales, éstas serán más eficientes y por tanto desplazarán al proyecto. No obstante, a los fines de esta metodología se simplificará el análisis omitiendo esta corrección.

El análisis desarrollado anteriormente puede aplicarse a también a los siguientes casos:

- Disminución de cortes no programados
- Disminución de racionamientos programados
- Disminución de importaciones de energía (la liberación de recursos corresponde a las divisas ahorradas)
- Beneficios por liberación de recursos: la comunidad beneficiada reducirá o eliminará el uso de velas, pilas, generadores, etc.

El beneficio neto directo por auto-generación de energía será igual a:

$$BNDAGE = \sum_{i=0}^{n} \frac{\int_{p=Qosp}^{Q1cp} DE(P)_p * dq + \int_{p=0}^{Qosp} OE^{sp}(P)_p * dq - Io(Mw/h)_i - (\sum_{j=1}^{m} DA_j * VDA_j)_i - (COM(Mw/h) * QMw/h))_i}{(1*r)^i}$$

Donde:

BNDAGE es beneficio neto por auto-generación eléctrica;

DE(P) es la demanda de energía en el período *i*;

OE^{sp}(P) es la oferta de energía en la situación sin proyecto en el período *i*;

Io(Mw/h) son las inversiones en capacidad instalada y de mantenimiento mayor que debe llevar a cabo la central durante el horizonte de vida del proyecto y que es función de la provisión de megavatios/hora[47];

DA$_j$ son los derechos de aprovechamiento tipo *j (no consuntivos)* que el sistema debe comprar (o arrendar) para producir energía en el período *i*.

VDA$_j$ es el valor o precio de los derechos de aprovechamiento tipo *j (no consuntivos)* que el sistema debe comprar (o arrendar) para producir energía en el período *i*.

m es el total de derechos de aprovechamiento no consuntivos.

COM(Mw/h) son los costos de operación y mantenimiento menor que debe llevar a cabo la central durante el horizonte de vida del proyecto y que es función de la provisión de megavatios/hora;

r es la tasa social de descuento pertinente;

n es el horizonte de evaluación del proyecto;

Si las curvas de demanda y oferta SP tienen la forma descrita en el gráfico y se cumplen determinados supuestos de linealidad de las mismas (por ejemplo elasticidad precio unitaria), las estimaciones de los beneficios por mayor consumo y liberación de recursos pueden simplificarse a partir de las siguientes fórmulas respectivamente:

$$DE(P) = \left(\frac{P1^{cp} + P0^{sp}}{2}\right) * (QO^{sp} - Q1^{cp})$$

Donde:

DE(P) es la demanda de energía en el período *i*;

P1^{cp} es el precio CP en el período *i*;

P0^{sp} es el precio SP en el período *i*;

Q0^{sp} es la cantidad consumida SP en el período *i*;

Q1^{cp} es la cantidad consumida CP en el período *i*;

$$OE(P) = \left(\frac{P1^{cp} + P0^{sp}}{2}\right) * QO^{sp}$$

Donde:

OE^{sp}(P) es la oferta de energía en la situación sin proyecto en el período *i*;

P1^{cp} es el precio CP en el período *i*;

P0^{sp} es el precio SP en el período *i*;

Q0^{sp} es la cantidad consumida SP en el período *i*;

[47] Los costos atribuibles a inversión corresponden a construcción de infraestructura, canales, túneles o tuberías de aducción, salas de máquinas, equipos eléctricos o de energía mecánica de la turbina, generador, el transformador de potencia, control y restitución de obras de la subestación agua, patios y líneas eléctricas, obras complementarias: caminos, la gente, talleres, etc.

iii. Efectos complementarios

Cuando el agua utilizada para la producción de energía se vierte hacia el río y puede utilizarse en otros usos, deben estimarse los beneficios netos generados por tales usos. Cualquiera sea el caso, dado que el agua utilizada para la producción de energía se vierte nuevamente al río, deben agregarse los beneficios netos por efecto de su utilización en otros usos (riego, agua potable, turismo y otros), restando los costos sobre los propósitos de defensa fluvial y control de crecidas.

Dado que la presente metodología evalúa los embalses y obras hidráulicas anexas desde una perspectiva multipropósito, para la estimación de estos beneficios y desbeneficios se recomienda aplicar las otras metodologías que se desarrollan en este documento.

APÉNDICE H

GUIA GENERAL DE PROCEDIMIENTOS PARA LA FORMULACIÓN DE PROYECTOS DE HIDROGENERACIÓN QUE AFECTAN LA OFERTA DE ENERGÍA EN EL SISTEMA INTERCONECTADO NACIONAL

En un proyecto de grandes magnitudes, que se espera afecte la oferta agregada de energía al Sistema Interconectado Nacional (SIN) la formulación del proyecto debe incluir una descripción de la infraestructura de producción disponible (capacidad de producción y operación) y la determinación de la condición de las instalaciones y su capacidad de operación. El análisis de la oferta competitiva debe incluir lo siguiente:

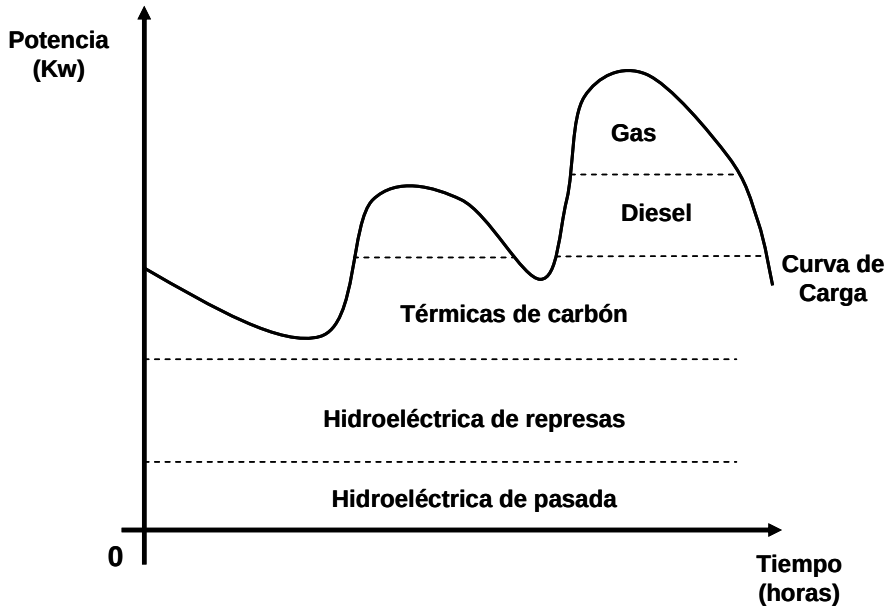
- ***Fuentes de energía*** utilizadas actualmente y el volumen generado por cada fuente: i) producción de energía primaria a partir de petróleo crudo, gas natural, carbón, madera, energía nuclear, otras; ii) producción de energía primaria de fuentes renovales: eólica, hidroeléctrica, geotérmica, solar, mareomotriz; iii) importación y exportación de energía primaria y secundaria.
- La ***infraestructura*** de las instalaciones de energía, para determinar su capacidad y estado actual de conservación (tipo de tecnología existente y el estado de conservación).
- ***Operación y mantenimiento*** del sistema energético. Es decir, las técnicas utilizadas para generar energía, la eficiencia con la que actualmente representa los costes de producción, operación y mantenimiento realizados.
- ***Orden de uso de las plantas***, dado que un sistema eléctrico se ocupa en función de los costos variables de cada central (desde el más eficiente al menos). La Figura N°G.1 muestra un orden hipotético de entrada al mercado spot.

Al comparar la provisión de energía con los requerimientos, se obtiene el déficit de energía, en el cual debe considerarse que la demanda de energía crece con el tiempo. La Figura N°H.2 muestra un saldo positivo en la mayoría de los años, excepto para el período ***to-t1***. Este déficit debe satisfacerse con el proyecto.

En algunas ocasiones el déficit puede satisfacerse con medidas alternativas de optimización de la situación actual, cuyos beneficios no deben atribuirse al proyecto. Entre ellos: i) proyectos para mejorar las ineficiencias técnicas en la transmisión y distribución de energía; ii) las ineficiencias económicas derivadas del mecanismo tarifario (que no se basa en precios al coste marginal).

Figura N°H.1

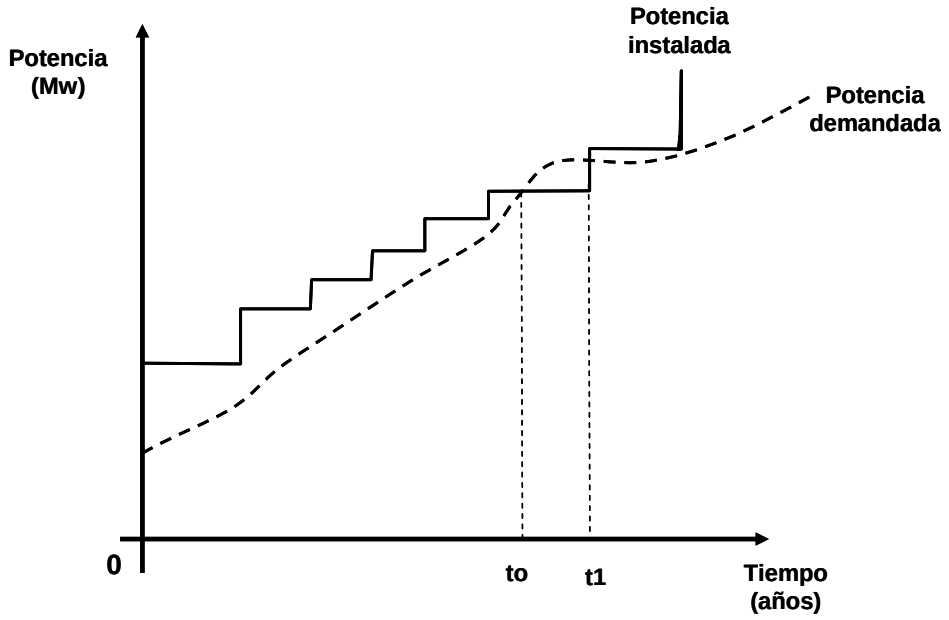
Uso de la capacidad instalada para satisfacer la demanda



Fuente: Elaboración propia en base a antecedentes varios.

Figura N°H.2

Capacidad instalada y potencia demandada



Fuente: Elaboración propia en base a antecedentes varios.

De acuerdo al modo de funcionamiento las plantas de energía de generación se clasifican:

- ***De Paso***: operan en forma continua porque no tienen capacidad para almacenar agua. El uso del agua disponible es en todo momento y puede hacerlo hasta el límite de su

capacidad. Las turbinas de eje pueden ser vertical u horizontal de acuerdo a la pendiente del río (si es fuerte o suave).

- ***De regulación***: el caudal recibido se regula por la construcción de una o más presas que forman lagos artificiales. Entre ellas: i) ***centrales de reservas diarias***: pequeña presa de regulación diaria. La presa se llena durante ciertas horas del día y el agua se utiliza con mayor intensidad durante las horas de alta demanda. Por lo general son construidas en los ríos que mantienen el caudal en cualquier época del año; ii) ***centrales de almacenamiento estacional***: tiene un depósito más grande y sirve para almacenar agua en las estaciones húmedas con el fin de utilizarla para producir energía durante la mayor parte del año.; iii) ***Centrales de almacenamiento por bombeo***: extensión de las centrales diarias.

De acuerdo a la altura de la cascada, las plantas se clasifican en:

- ***Centro de alta presión***: la caída hidráulica es mayor de 200 metros de altura.
- ***Centro de medios de presión***: la caída hidráulica se sitúa entre 20 y 200 metros de distancia.
- ***De presión central baja***: la caída hidráulica es menor a 20 metros.

De acuerdo a la capacidad instalada, las centrales hidroeléctricas son de:

- ***Centrales mayores***: más de 200 Mw.
- ***Centrales medianas***: entre 20 Mw y 200 Mw.
- ***Micro-hidráulica***: menos de 20 Mw.

Para cada una de las soluciones alternativas identificadas debe ser tomada en cuenta la siguiente información:

- Especificación de las características de cada alternativa de generación:
    - Presa: capacidad de almacenamiento y su cuota de mercado, el número de hectáreas inundadas y su volumen de uso productivo actual de los sedimentos, el régimen hidrológico de la cuenca donde se ubica, etc.
    - Proyecto energético.
    - La energía que puede surgir de un mes a otro.
    - La caída del agua (metros).
    - Las pérdidas hidráulicas.
    - Diseño de flujo (m3/s).
    - Nivel de operación de la presa.
    - Acciones de la restitución.
    - Costo de la inversión.
    - Costo de operación de acuerdo con un nivel de carga.
- Ubicación y la influencia de diseño alternativo: el área de influencia en los proyectos se compone de tres segmentos bien diferenciados:

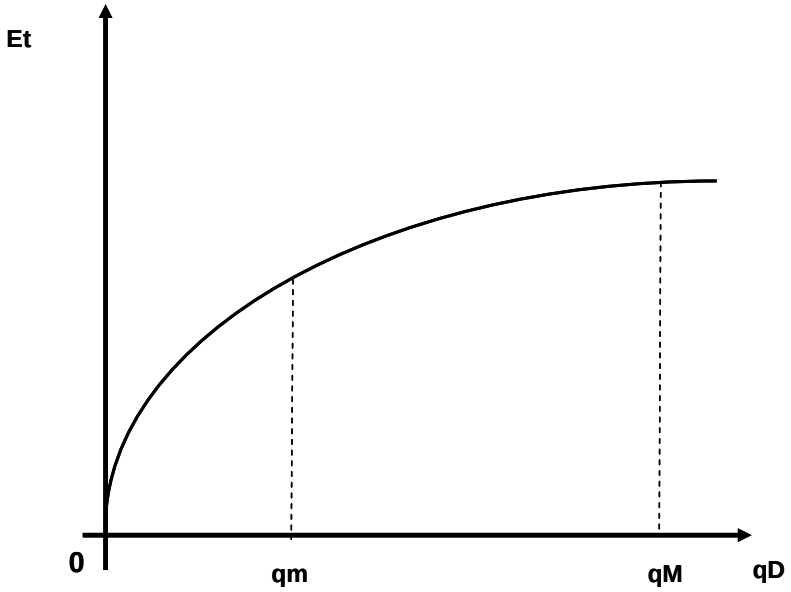
- El área afectada por las obras, incluyendo inundadas por el río y el radio de acción necesario para la protección y el funcionamiento de la misma. Las obras contempladas son la desviación de cursos de agua, la estructura de la presa, casa de máquinas, túneles, carga, descarga de canales, caminos de acceso, áreas de camping y oficinas, etc.
- La zona situada aguas abajo de la presa. Es necesario identificar los efectos de la diferente calidad del agua, el régimen de descarga en las tierras que se inundaron, las actividades agrícolas, etc.
- La cuenca situada aguas arriba del lugar de captura, que tiene una influencia significativa en la cantidad y calidad de agua que llega a la tubería o presa.

- Descripción de los componentes del diseño de alternativas: que las acciones se llevarán a cabo y los resultados esperados de cada uno. Los componentes principales son:
  - Presa y el embalse, el tamaño de la presa depende de los caudales proporcionados por el río represado, sus afluentes y la caída de agua de lluvia. Incluye obras tales como desvío de los ríos, presas, compuertas, drenaje, fondo, etc. Las presas pueden clasificarse por el material utilizado en su construcción en presas de tierra y presas de hormigón.
  - Sistema de transferencia: permite el flujo de salida de la presa.
  - Los caminos para conexión entre las propiedades afectadas por las represas, la transferencia y planta de generación propia.
  - Instalaciones de generación hidroeléctrica
  - Obras de toma de agua, tubería de carga, la potencia, cámara de descarga, el acceso central y las obras auxiliares, etc.
  - El equipo eléctrico, mecánico o hidromecánico: turbina, generador, transformador de energía, control y subestaciones y líneas de transmisión.
  - Canal de entrega.
  - Instalaciones auxiliares, campamentos, talleres y plantas, residuos vertederos de hormigón (residuos) de la construcción y montaje, otros.

Cabe recordar que el comportamiento del río es aleatorio, de manera que cuando se pronostica un determinado caudal q, no puede tenerse certeza absoluta de obtenerlo. Cuando no es posible extraer de río el caudal pronosticado, será producida menos energía. El ***fp*** indica la probabilidad de obtener el caudal para el cual fue construida la central. Si su comportamiento fuera aleatorio, su valor seria 1. En este tipo de diseño interesa el caudal desviado y la altura. El nivel de qD refleja el flujo o caudal de diseño, cuyo nivel afecta la energía generada; a mayor caudal de diseño de flujo, mayor probabilidad de generar energía (Figura N°H.3).

Figura N°H.3

Relación entre la energía potencial y el caudal de diseño

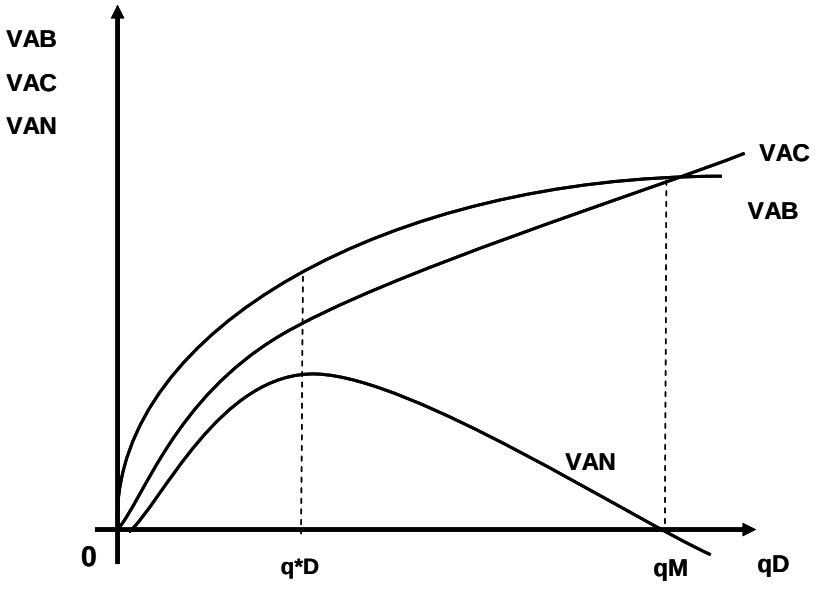


Fuente: Elaboración propia en base a antecedentes varios.

Es importante señalar que es posible determinar el tamaño óptimo para qD. Por un lado, un aumento de esta variable lleva al aumento de Et, siempre y cuando qD no sobrepase qM, es decir, hasta donde se generan beneficios. Por otra parte, este aumento implica un incremento en los costos de inversión y mantenimiento.

Figura N°H.4

Valores actuales de beneficios (VAB) y costos (VAC) de la alternativa



Fuente: Elaboración propia en base a antecedentes varios.

Cuando q es una variable aleatoria, tiene una distribución de probabilidad asociada, con un valor medio y una dispersión. Para simplificar, se podría asumir que sólo puede tomar tres comportamientos: los años húmedos, años normales y años secos. Cada uno tiene una probabilidad de ocurrencia. En cuanto a los costos, el aumento de qD eleva los costes de inversión y mantenimiento (Figura N°H.4).

El caudal de diseño óptimo corresponde a q*D, es decir, aquél que maximiza el valor actual neto (VAN).

Al planificar una presa se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Los costos de inversión y mantenimiento.
- Los beneficios asociados con la producción de más cantidad de energía, lo cual se logra mediante la transferencia del exceso de caudal.

Asimismo, debe tenerse cuidado de no sobrestimar los beneficios, ya que también se puede lograr aumentando el caudal de diseño. Si el aumento de los costos que implica aumentar el caudal de diseño es inferior a los beneficios de la producción adicional de energía, se debe atribuir como un beneficio para ese proyecto.

I. Identificación de beneficios y costos

Los beneficios atribuibles por la liberación de los recursos, teniendo en cuenta que la generación hidroeléctrica reemplazará a la energía que se obtiene con la tecnología existente en el sistema interconectado o la generación de los medios utilizados por las personas aisladas de la red. En algunas ocasiones, como en un área que no está conectada a la red, también hay un beneficio por el aumento del consumo.

Los costos son atribuibles a los costos de inversión (construcción de infraestructura, canales, túneles o tuberías de aducción, salas de máquinas, equipos eléctricos o de energía mecánica de la turbina, generador, el transformador de potencia, control y restitución de obras de la subestación agua, patios y líneas eléctricas, obras complementarias: caminos, la gente, talleres, etc.), y los costos de operación y mantenimiento de la planta hidroeléctrica.

Como en el caso presentado en el capítulo, deberán identificarse los beneficios netos de uso de recurso en otros sectores: riego, agua potable, defensa fluvial y control de crecidas, entre otros.

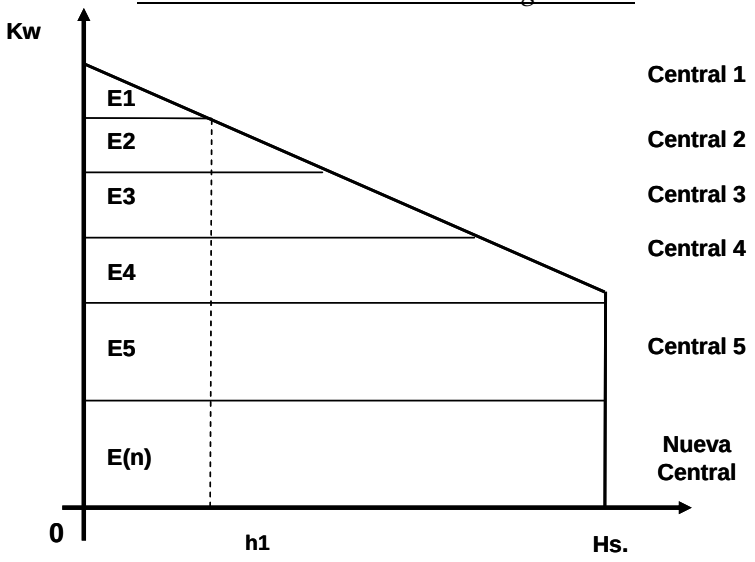
II. Cuantificación de beneficios y costos

Cuando el proyecto sustituye una planta existente, el beneficio está dado por los menores costos que el país dejará de incurrir para producir energía a partir de otras fuentes como la térmica o geotérmica. Esto es debido a la forma de funcionamiento del sistema interconectado.

La operación de la red interconectada implica que cuando la energía hidroeléctrica no es suficiente para satisfacer sus necesidades, se recurre a la energía térmica, por ejemplo. La Figura N°H.5 presenta la situación CP, considerando que la operación de cuatro plantas de energía más eficientes y nueva estación de energía hidroeléctrica.

Figura N°H.5

Funcionamiento del sistema integrado CP



Fuente: Elaboración propia en base a antecedentes varios.

Donde:

E(n) representa la energía que será producida por la nueva central (Kwh.) cuya magnitud refleja el desplazamiento de las centrales existentes en la situación SP. Los beneficios de la nueva central están dados por la reducción de costos:

$$\textit{Beneficio} = E_5*(C_5-C_N) + E_4*(C_4-C_N) + E_3*(C_3-C_4) + E_2*(C_2-C_3) + E_1*(C_1-C_2)$$

Donde:

C5 a C1 son los costos medios de explotación de las centrales 5 a 1 respectivamente;

C_N es el costo medio de la nueva central.

Esta liberación de recursos es constante, por lo tanto, para efectos de la comparación CP y SP es necesario considerar el valor actual del conjunto. Al respecto, los beneficios asociados a la nueva central probablemente se vean disminuidos a lo largo del tiempo. El supuesto es que a medida que se construyan nuevas centrales, éstas serán más eficientes y por tanto ocuparán la base de la curva de demanda del sistema. Esto supone que en algún momento la central que está siendo evaluada será sustituida parcial o totalmente por centrales más eficaces.

Para calcular este beneficio es necesario contar con los precios de todas las demás opciones que puede usar el país para suplir la demanda nacional de electricidad, incluida la hidroeléctrica.

Si se observan también beneficios por disminución de cortes no programados, disminución de racionamientos programados o incorporación de nuevos usuarios, deben estimarse tales beneficios a través del análisis desarrollado en el cuerpo principal del capítulo.

4 – METODOLOGÍA DE ESTIMACIÓN DE BENEFICIOS POR AUMENTO DE LA OFERTA DE AGUA POTABLE

Las organizaciones o empresas que proveen abastecimiento urbano y rural de agua potable, indistintamente "sanitarias", ejecutan actividades de captación, tratamiento y distribución del agua y en algunos casos, también la recolección y tratamiento de las aguas residuales.

La función de producción de una sanitaria engloba diferentes procesos para la provisión del servicio:

- ***Captación***: Proceso mediante el cual se captan de fuentes superficiales o subterráneas, y con medios propios, los volúmenes del recurso necesarios para el desarrollo de las actividades que les son propias. Dicho producto requiere un tratamiento posterior en la Estación de Tratamiento de Aguas Potables.
- ***Potabilización***: el agua salobre procedente tanto del proceso de captación es tratada en las Estaciones de Tratamiento de Aguas Potables, donde a partir del mencionado influyente y otros factores productivos se lleva a cabo un conjunto de procesos que dan lugar a la obtención de agua potabilizada.
- ***Desalación***: Proceso en el que a partir del agua salobre se lleva a cabo la separación del agua y las sales.
- ***Depuración***: A partir de las aguas residuales se realiza un conjunto de actividades encaminadas a reducir las impurezas que contienen y a devolver tales volúmenes de agua a un medio receptor (mar, río, etc.), cumpliendo los parámetros establecidos por la legislación vigente.

Desde el punto de vista de los beneficios, un embalse provoca un aumento de la oferta de agua cruda en un área. Si esta agua adicional es vendida a una empresa sanitaria, se obtendrá un beneficio por mayor consumo de agua cruda para la generación de agua potable. En cambio, si el agua cruda se libera para su potabilización y entrega a un área sin abastecimiento de agua potable en la situación SP, los beneficios del proyecto corresponden a la liberación de recursos (ahorros de costos por reemplazo de tecnologías alternativas de provisión del agua cruda - por ejemplo ahorros de costos de bombeo -) y al mayor consumo de agua potable.

i. Beneficios por venta de agua cruda embalsada a una empresa o sistema sanitario

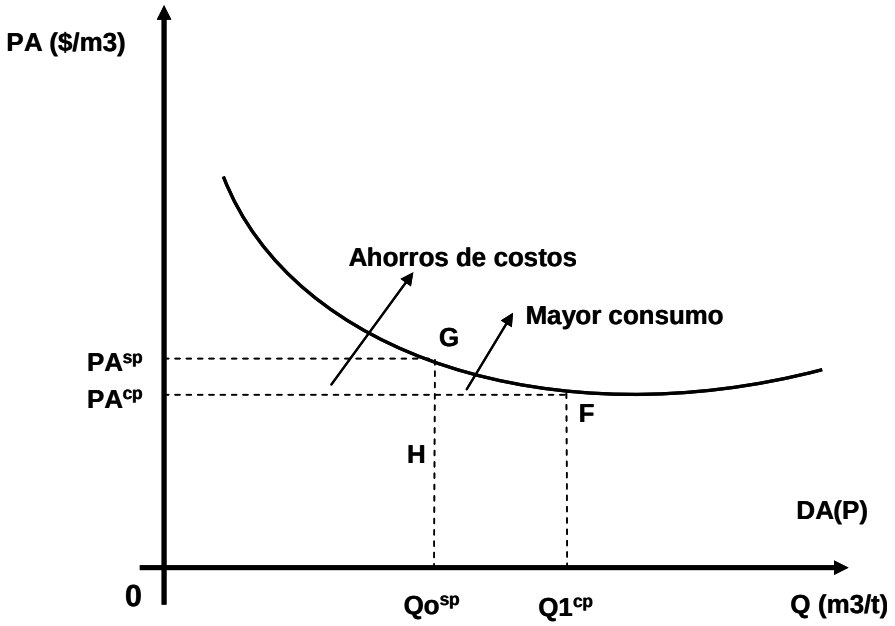
Conceptualmente, este beneficio corresponde al aumento de consumo por mayor oferta de agua potable y debe medirse a partir del beneficio marginal social del consumo, es decir, el área debajo de la curva de demanda social. No obstante, por la complejidad de estimar tales curvas, puede aproximarse este beneficio a través de las ventas de agua a la sanitaria. Suponiendo que el proyecto es tomador de precios, los beneficios se pueden estimar como la venta de agua cruda, deducidos los costos de

producción e inversión: i) construcción de infraestructura, canales, túneles; ii) tuberías de aducción; iii) equipos de potabilización; iv) operación y mantenimiento; v) obras complementarias: caminos, y otros.

Cuando el proyecto aumenta la oferta de agua potable en un área que dispone de un sistema de agua potable, urbano o rural, suponiendo una curva de demanda no inelástica, el beneficio corresponde al ahorro de costos de la fuente alternativa reemplazada y al aumento de consumo por disminución del precio de equilibrio. La Figura N°4.1 muestra este caso, donde el beneficio está dado por el área $PA^{cp}PA^{sp}GF$.

Figura N°4.1

Beneficio por aumento del consumo de agua potable y liberación de recursos



Fuente: Elaboración propia en base a antecedentes varios.

A los fines de la estimación de los beneficios, se ha supuesto que el proyecto afecta el precio del agua potable[48].

El beneficio neto directo por venta de agua cruda en un proyecto que es tomador de precios será igual a:

$$BNAPT = \sum_{i=0}^{n} \frac{\int_{p=Qosp}^{Q1cp} DAP(P)_p * dq + (PA^{sp} - PA^{cp}) * Qo^{sp} - Io(QAP/m)_i - (\sum_{h=1}^{l} DA_h * VDA_h)_i - (COM(QAP/m) * QAP/m))_i}{(1*r)^i}$$

Donde:

BNAPT es beneficio neto total por aumento de la oferta de agua potable;

[48] La tarifa corresponde a los costos medios de largo plazo (lo que explica la curva de oferta perfectamente elástica). Dado que en Chile se realiza un proceso de evaluación tarifaria cada 5 años, el supuesto de cómo el proyecto afecta el precio de la sanitaria deberá resolverse caso a caso. No obstante, los supuestos aplicados en el presente ejemplo se consideran suficientemente representativos.

DAP(P) es la demanda de agua potable en el período *i;*

PA^{sp} es el precio del agua potable en la situación sin proyecto en el período *i;*

PA^{cp} es el precio del agua potable en la situación con proyecto en el período *i;*

Qo^{sp} es la oferta de agua potable en la situación sin proyecto en el período *i;*

$Q1^{cp}$ es la oferta de agua potable en la situación con proyecto en el período *i;*

Io(QAP/m) son las inversiones en capacidad instalada y de mantenimiento mayor que debe llevar a cabo el sistema de agua potable durante el horizonte de vida del proyecto y que es función de la provisión de agua potable/mes[49];

DA_j son los derechos de aprovechamiento tipo *h (consuntivos)* que el sistema debe comprar (o arrendar) para producir agua potable en el período *i*.

VDA_j es el valor o precio de los derechos de aprovechamiento tipo *h (consuntivos)* que el sistema debe comprar (o arrendar) para producir agua potable en el período *i*.

l es el total de derechos de aprovechamiento consuntivos.

COM(QAP/m) son los costos de operación y mantenimiento menor que debe llevar a cabo el sistema durante el horizonte de vida del proyecto y que es función de la provisión de provisión de agua potable/mes[50];

r es la tasa social de descuento pertinente;

n es el horizonte de evaluación del proyecto;

La curva de demanda refleja la disposición a pagar de las personas por cada unidad marginal de agua consumida. En general la curva de demanda por agua potable es de tipo hiperbólica y su ecuación es de la siguiente forma:

$$LCD = A * P^e$$

Donde:

LCD es la dotación de consumo (I/h/día);

A es la constante que define la curva hiperbólica;

E es la elasticidad precio de la demanda;

P es el precio marginal del agua ($/m3);

Si la curva de Demanda agregada es del tipo:

$$Q = 0{,}365 * Pob * LCD$$

$$Q = 0{,}365 * Pob * A * P^e$$

$$Q = B * P^e$$

Donde:

Q es la cantidad demandada (m3/año);

Pob es la población abastecida (habs.);

[49] Entre los costos de inversión, los típicos corresponden a los de infraestructura y equipo para producir y distribuir agua potable: captación, conducción, bombeo y distribución, incluyendo movimientos de tierra, obras civiles, equipamiento, estudios e inspección técnica, entre otros.

[50] Los costes de operación se refieren a los productos químicos, energía, mano de obra de mantenimiento de equipos y los gastos generales y de administración.

Entonces:

$$B = 0{,}365 * B * A$$

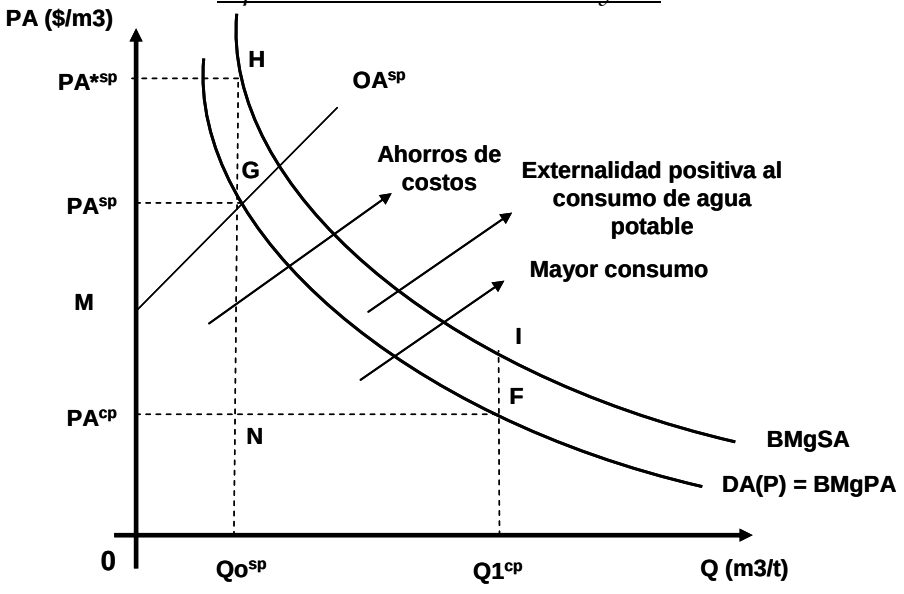
El precio límite (PL) es un parámetro que acota los beneficios del proyecto y representa la disposición máxima a pagar por disponer de agua, o el precio de la fuente alternativa de abastecimiento de agua. Si el proyecto permite proveer las Q0 unidades de agua potable a un menor costo que en la situación SP, existirá la liberación de recursos correspondiente al beneficio estimado.

ii. Beneficios netos de provisión de agua potable en área sin sistema de agua potable

Cuando el proyecto provee agua potable en un área sin suministro de la misma (en general en zonas rurales), los beneficios están dados por la liberación de recursos o ahorro de costos por reemplazo de otras fuentes de provisión de agua para consumo humano, aumento de consumo de agua potable por disponer de una fuente permanente de abastecimiento y ahorros de costos por menores niveles de morbilidad de los usuarios que pasan a consumir agua potable en la situación CP.

Figura N°4.2

Equilibrio en la situación CP y SP



Fuente: Elaboración propia en base a antecedentes varios.

Cuando el proyecto sustituye la provisión de agua, no necesariamente potable, desde sistemas alternativos como norias o vertientes, a las que las personas van con vasijas o recipientes a la fuente en búsqueda de agua, se producen los denominados costos de acarreo (o costos en los que el país dejará de incurrir por producir agua potable en la situación CP). Asimismo, dado que los usuarios en la situación SP consumen agua no necesariamente potable, la curva de beneficio marginal por consumo de agua (BMgSA) está por encima de la curva de beneficio marginal privado (BMgPA); es decir, la sociedad atribuye una externalidad positiva al consumo de agua potable (esa diferencia corresponde a los ahorros de costos sociales por menor morbilidad de las personas; por ejemplo por menor probabilidad de existencia de enfermedades

gastrointestinales). La Figura N°4.2 presenta la situación SP, suponiendo el consumo de agua a través de acarreo desde fuentes naturales.

En la situación SP el equilibrio está dado por G, consumiéndose Qo^{sp} a un precio PA^{sp}; con el proyecto, el equilibrio se establece en F, con mayor consumo ($Q1^{cp}$) y menor precio (o costo, PA^{cp}). De esta forma, el beneficio por liberación de recursos corresponde al área $PA^{cp}MGN$, el beneficio por mayor consumo privado está dado por el área $GFQ1^{cp}Qo^{sp}$ y el beneficio social por externalidad positiva al consumo de agua potable dado por el área GHIF.

El beneficio por provisión de agua potable en un área sin sistema de agua potable será igual a:

$$BNAPT = \sum_{i=0}^{n} \frac{\int_{p=Qosp}^{Q1cp} BMgS(P)_p * dq + \int_{p=0}^{Qosp} OA^{sp} - Io(QAP/m)_i * dq - (\sum_{h=1}^{l} DA_h * VDA_h)_i - (COM(QAP/m) * QAP/m))_i}{(1*r)^i}$$

Donde:

BNAPT es beneficio neto total por aumento de la oferta de agua potable en un área sin agua potable;

BMgS(P) es la curva de beneficio marginal social por consumo de agua potable en el período *i*;

OA^{sp} es la oferta de agua potable en la situación SP en el período *i*;

Io(QAP/m) son las inversiones en capacidad instalada y de mantenimiento mayor que debe llevar a cabo el sistema de agua potable durante el horizonte de vida del proyecto y que es función de la provisión de agua potable/mes[51];

DA_j son los derechos de aprovechamiento tipo *h (consuntivos)* que el sistema debe comprar (o arrendar) para producir agua potable en el período *i*.

VDA_j es el valor o precio de los derechos de aprovechamiento tipo *h (consuntivos)* que el sistema debe comprar (o arrendar) para producir agua potable en el período *i*.

l es el total de derechos de aprovechamiento consuntivos.

COM(QAP/m) son los costos de operación y mantenimiento menor que debe llevar a cabo el sistema durante el horizonte de vida del proyecto y que es función de la provisión de provisión de agua potable/mes;

r es la tasa social de descuento pertinente;

n es el horizonte de evaluación del proyecto;

---

[51] Entre los costos de inversión, los típicos corresponden a los de infraestructura y equipo para producir y distribuir agua potable: captación, conducción, bombeo y distribución, incluyendo movimientos de tierra, obras civiles, equipamiento, estudios e inspección técnica, entre otros.

5 – METODOLOGÍA DE ESTIMACIÓN DE BENEFICIOS POR AUMENTO DE LA OFERTA DE AGUA PARA MINERÍA

El crecimiento de la actividad minera en la última década, principalmente por el incremento en el precio internacional del cobre, ha llevado a un aumento considerable en la demanda de agua cruda para la explotación en el sector. Atento a ello y a la escasez relativa del agua en el norte del país, donde se concentra mayormente la actividad, ha llevado a las mineras a explorar nuevas fuentes de agua. Además de las fuentes superficiales de captación de los recursos hídricos, la minería obtiene agua de plantas desaladoras, atrapa nieblas y cuencas subterráneas.

I. Diseño del proyecto

La definición de los requerimientos de agua cruda para usos en la minería dependerá del análisis de usos potenciales; entre los principales, agua para las plantas de procesamiento, para el transporte del mineral o concentrado, para las fundiciones, para los procesos hidrometalúrgicos y electrolíticos, además de las pérdidas correspondientes. El Apéndice I expone con con detalle cada uno de los procesos.

Diferentes alternativas han sido planteadas para optimizar el uso del agua y aumentar la disponibilidad del recurso:

*) Generar precipitaciones artificiales para optimizar la recuperación de aguas a través de un controlador inteligente;

*) Ejecutar proyectos de infiltración para desarrollar reservorios subterráneos para crecidas;

*) Desarrollar proyectos de desalinización de agua de mar;

*) Comprar recursos hídricos a países vecinos con cuencas superavitarias;

*) Construir obras de trasvase de recursos hídricos desde la zona sur y centro (superavitarias) al norte;

*) Construir acueductos transregionales para recolectar los excedentes de los embalses de la zona central;

*) Mejorar los sistemas de captación de neblina;

*) Explotar recursos hídricos, ubicando recursos fósiles para su posterior explotación;

*) Disponer de relaves espesados como alternativas para liberar recursos hídricos;

*) Desarrollar procesos mineros sin agua.

El valor de la mineralización es función de diversos factores: i) geológicos (calidad, tonelaje, condiciones de yacencia etc.); ii) localización (condiciones geográficas); iii) legales; iv) ambientales y v) económicos.

El principal activo de una mina son sus reservas ***geológicas*** y si estas no existen o la calidad es muy baja entonces la mineralización no posee importancia económica. Este factor comprende los parámetros calidad, cantidad, condiciones de yacencia, morfología, entre otros. La ***localización*** del posible yacimiento determina la cercanía al mercando, la disponibilidad de mano de obra, energía y existencia de

infraestructura etc. Aquellos yacimientos alejados de los centros industriales deben poseer características muy especiales en términos de cantidad, calidad y valor de la materia prima para poder ser económicos.

El enfoque de la ***función de producción*** es la técnica más ampliamente aplicada para la valoración del agua en la industria: la demanda por insumos del productor está dada por el VPMgA en la minería, de acuerdo a la siguiente función:

$$M = f\,(K, L, R, Y, A)$$

Donde:

M es la función de producción de la minera;

K es el factor capital;

L es el factor trabajo;

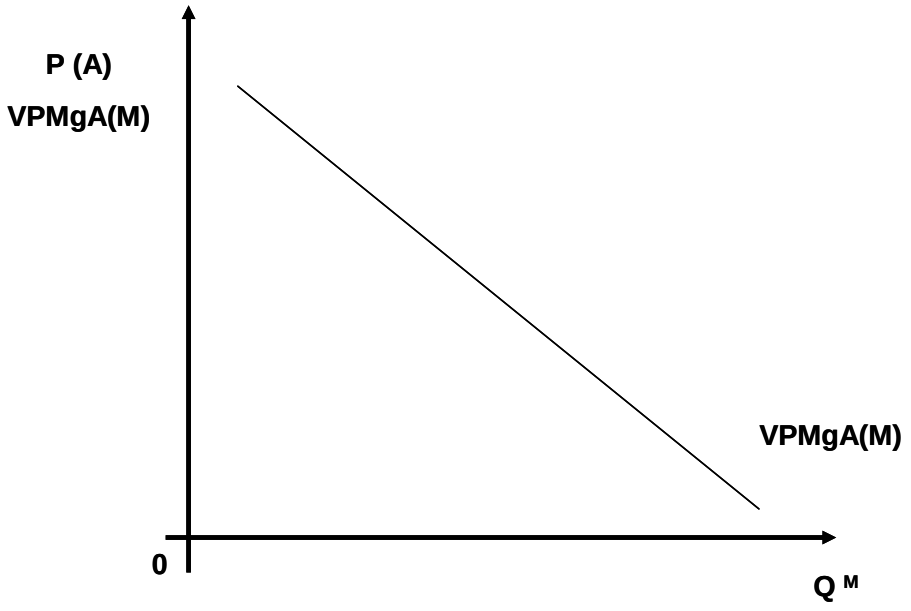
Y es el factor yacimiento;

A es el factor agua;

La Figura N°5.1 muestra la demanda agregada de agua para los diferentes usos mineros.

Figura N°5.1

Demanda por agua en la minería



Fuente: Elaboración propia en base a antecedentes varios.

En equilibrio deberá cumplirse que:

$$PA = VPMgAg = PMgA * PM$$

Donde:

PA es el precio del agua;

VPMgA es el valor del producto marginal del agua en la minería;

PMgA es la productividad marginal del agua en la minería;

PM es el precio del producto final minero.

El ritmo de producción es un parámetro que posee gran influencia sobre la rentabilidad económica del yacimiento. La producción anual determina las inversiones capitales, el nivel de costo de operación y los ingresos anuales. La producción anual depende de: i) sistema de explotación (La explotación a cielo abierto permite una minería a mayor escala, menores costos de explotación, mayor productividad y por consiguiente mayor producción anual); ii) tonelaje del yacimiento (reservas estimadas y potenciales) (tabla de Taylor); iii) demanda de la materia prima; iv) magnitud de la inversión capital.

La producción anual debe seleccionarse en correspondencia a las reservas estimadas del yacimiento. La producción anual y el tonelaje del yacimiento (reservas de mineral útil) determinan el tiempo de vida del yacimiento. Debe tenerse presente, que en la mayoría de los casos, se trata de establecer un ritmo óptimo mínimo para la operación en sus primeros años, ya que puede hacerse una expansión posteriormente si estudios futuros así lo recomendaran. En literatura técnica existen algunas formulas de estimación del ritmo óptimo de producción a partir de las reservas que se consideran explotables dentro del yacimiento. La primera formula es conocida como regla de Taylor (1976) según su autor es aplicable, en principio, a cualquier tipo de yacimiento y es independiente del método de explotación. La formula propuesta por Taylor es:

AM (Mt/año)=0,15*Reservas(t)^0,75

Donde:

AM (Mt/año) es producción anual;

MT es toneladas métricas;

Reservas(t) corresponde a las reservas en el momento *t*;

0,15 y 0,75 son parámetros dados por la fórmula;

En las minas de cielo abierto la fórmula es:

AM (t/año)=5,63*Reservas(t)^ 0,756

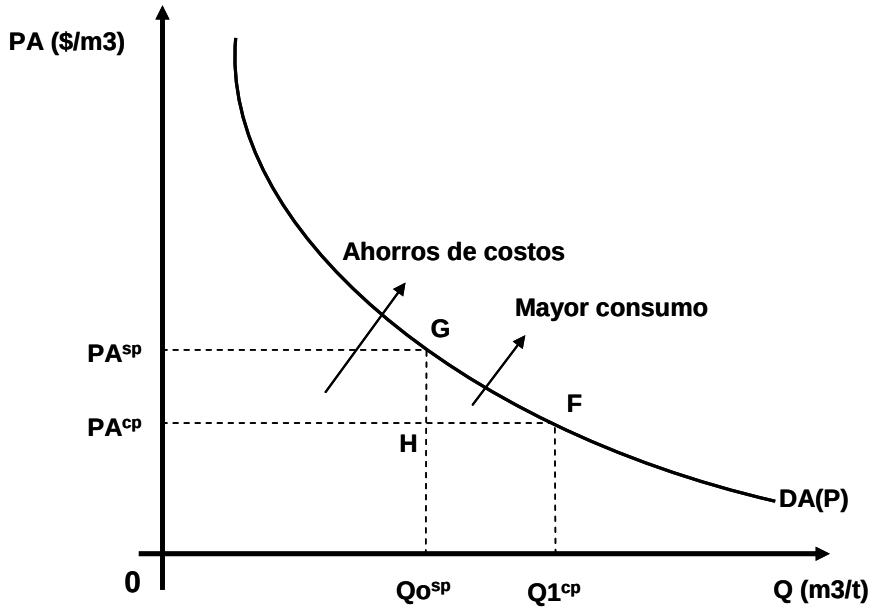
Estas fórmulas empíricas constituyen herramientas útiles en las evaluaciones preliminares de la viabilidad de explotación de un yacimiento.

II. Beneficios netos del proyecto de provisión de agua para la minería

Dado que el proyecto aumenta la oferta de agua cruda para uso en la minería, suponiendo una curva de demanda no inelástica (según los supuestos desarrollados en el apartado anterior), el beneficio corresponde al ahorro de costos de la fuente alternativa reemplazada y al aumento de consumo por disminución del precio de equilibrio. La Figura N°5.2 muestra este caso, donde el beneficio está dado por el área $PA^{cp}PA^{sp}GF$. El beneficio por *liberación de recursos* es igual al área $PA^{cp}PA^{sp}GH$ y el *mayor consumo de agua cruda* corresponde al área $GFQ1^{cp}Q0^{sp}$.

Figura N°5.2

Beneficio por aumento del consumo de agua cruda y liberación de recursos



Fuente: Elaboración propia en base a antecedentes varios.

De esta forma, el beneficio neto por aumento de la disponibilidad de agua cruda para la minería por efecto del proyecto será igual a:

$$BNAM = \sum_{i=0}^{n} \frac{\int_{p=Qosp}^{Q1cp} DAM(P)_p * dq + (PA^{sp} - PA^{cp}) * Qo^{sp} - Io(QAM_i - (\sum_{h=1}^{l} DA_h * VDA_h)_i - (COM(QAM) * (Q1^{cp} - Q0^{sp}))_i + XN_i}{(1*r)^i}$$

Donde:

BNAM es beneficio neto total por aumento de la oferta de agua cruda en la minería;

DAM(P) es la demanda de agua cruda para la minería en el período *i*;

PA^{sp} es el precio del agua cruda en la situación sin proyecto en el período *i*;

PA^{cp} es el precio del agua cruda en la situación con proyecto en el período *i*;

Qo^{sp} es la oferta de agua cruda en la situación sin proyecto en el período *i*;

Q1^{cp} es la oferta de agua cruda en la situación con proyecto en el período *i*;

Io(QAM) son las inversiones en capacidad instalada y de mantenimiento mayor que debe llevar a cabo el sistema de producción minero durante el horizonte de vida del proyecto;

DA$_j$ son los derechos de aprovechamiento tipo *h (consuntivos)* que la minera debe comprar (o arrendar) para utilizar agua cruda en el período *i*.

VDA$_j$ es el valor o precio de los derechos de aprovechamiento tipo *h (consuntivos)* que la minera debe comprar (o arrendar) para utilizar agua cruda en el período *i*.

l es el total de derechos de aprovechamiento consuntivos.

COM(QAM) son los costos de operación y mantenimiento menor que debe llevar a cabo el sistema durante el horizonte de vida del proyecto y que es función de la provisión de provisión de agua potable/mes;

XN_i son los beneficios netos indirectos, secundarios y externalidades generados por la minería. Por ejemplo, efectos ambientales por aumentos de los residuos industriales contaminantes y los costos de desarrollo de nueva infraestructura para viabilizar los proyectos mineros: nueva vialidad, nuevos desarrollos urbanos, nuevo equipamiento (educación, salud), beneficios por aumento de la productividad laboral en el sector y otros.

r es la tasa social de descuento pertinente;

n es el horizonte de evaluación del proyecto;

APÉNDICE I

GUIA GENERAL PARA LA ESTIMACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS DE AGUA EN LA MINERÍA

La demanda de agua cruda para actividades mineras se concentra en los siguientes usos.

I. Agua para consumo humano en campamentos

El agua de consumo humano es para bebida, cocción, lavado, riego, y baños y representa usualmente menos de 1.5% por ciento del agua consumida en una empresa minera. Este porcentaje varía bastante debido al diferente ámbito de actividades de las diversas empresas mineras. En empresas de gran dimensión, el consumo es usualmente más cercano o inferior a 1% (Seminario "Minería y Usos de Agua en Chile", Centro de Estudios Públicos, Santiago, Chile, 1997. Publicado en Serie de Documentos de Trabajo No 273, Octubre 1997).

II. Agua para consumo en la mina

El uso principal de agua en las minas de cielo abierto es para riego de caminos con objeto de reducir el polvo en suspensión. En la minería subterránea, el consumo del agua es reducido y generalmente se extrae agua natural que se posa en el fondo de los piques, la que puede provenir de lluvias o de afloramientos de las napas subterráneas. Cifras disponibles indican que el agua utilizada en riego de caminos puede variar entre cero y el 15% del consumo total de agua de una faena minera y corresponde aproximadamente al 3% del consumo total por tonelada de cobre catódico producida.

III. Agua para funcionamiento de las plantas de procesamiento

Las plantas de procesamiento de minerales realizan el chancado y molienda del mineral, seguido por la flotación, clasificación y espesamiento. El producto de estas plantas es un concentrado (parte valiosa del mineral que flota durante el proceso de flotación), el que contiene entre 25 y 45 por ciento de cobre dependiendo de las especies de mineral involucrado (calcopirita, covelina, calcosina, óxidos, etc.). Por otro lado el desecho de estas plantas es el relave, el que consiste en el mineral que no flota (que es enviado a los tranques de relave).

IV. Pérdidas de agua

Las pérdidas de agua durante el procesamiento de minerales son variadas; las principales causas de éstas corresponden a: i) ***evaporación***, especialmente en tranques de relave, espesadores y acopio de mineral y/o concentrado; ésta es más severa en el desierto, mientras que en lugares cercanos al mar disminuye[52]; ii) ***infiltraciones*** producidas hacia las napas subterráneas pueden ser consideradas muchas veces como perdidas ya que una parte considerable de esta agua queda absorbida en los suelos o se evapora[53]. Sin embargo, una parte del agua puede ser recuperada de las napas; iii) ***proceso de secado del concentrado***

[52] A modo de ejemplo, Minera Escondida cita en un estudio del año 95 (Mel, 1995) una evaporación en el relave de aproximadamente 13% con respecto a la circulación de agua en el relave. Si la cifra se compara con la alimentación de agua fresca, el porcentaje evaporado es aproximadamente 23%.

[53] En principio, este efecto debería estar controlado por la ley ambiental, ya que la infiltración de agua puede provocar la contaminación de las napas subterráneas.

previo a la fusión, mediante el cual el mineral debe ser alimentado a los hornos de fusión con la mínima cantidad de agua posible con objeto de aprovechar al máximo el combustible y las reacciones exotérmicas producidas durante la fusión. El agua que debe ser evaporada antes de la fusión varía de acuerdo a la ley del concentrado y las características de la fundición; iv) cuando el tranque de relaves o espesador están ubicados a la misma altura sobre el nivel del mar que la planta de flotación, el agua que se recupera puede ser ***reutilizada*** en el proceso. No retornar el agua al proceso de flotación tiene el costo, no sólo del agua misma, sino que del acondicionamiento del PH. No obstante, debe considerarse que en el caso de los tranques de relave, los niveles de metales o sales de estas aguas, denominadas las aguas claras, en la mayoría de los casos no es adecuado para uso en agricultura.

V. Agua para transporte de mineral o concentrado

El mineral es generalmente tratado en *Plantas Concentradoras* que se encuentran en la vecindad de las minas, debido a que el costo de su transporte es entre 10 y 60 veces más caro que transportar concentrado. Existen básicamente dos formas de transportar el concentrado desde las minas a las fundiciones o a un puerto: mediante camiones o trenes, y mediante un mineroducto. Con objeto que el concentrado fluya a lo largo del mineroducto, es preciso agregar agua. Adicionalmente, la cantidad de agua utilizada por tonelada de mineral transportada es constante con respecto a la distancia transportada, lo que no ocurre en el caso del transporte terrestre. El creciente "valor" del agua en la minería, hace que el uso de estos proyectos pierda participación relativa con el transcurso del tiempo. En el caso del transporte por camión o tren, el uso aparente de agua está constituido por la humedad del concentrado, la que es equivalente a aproximadamente un 10% de la que se transporta en un mineroducto. Sin embargo esta estimación no c0onsidera el consumo de agua de los camiones o trenes propiamente tales, que excede largamente el consumo del radiador[54].

VI. Agua utilizada en las fundiciones

La fusión de concentrados se realiza con minerales sulfurados en diversos reactores y da origen al cobre blister o a ánodos. Una parte fundamental de la fusión es la recuperación del azufre contenido en el concentrado, el que durante la fusión se transforma en anhídrido sulfuroso, SO2. El agua se utiliza en el enfriamiento de gases ya sea directamente en la fusión o en la sección de producción de ácido sulfúrico, donde el gas llega con una temperatura mayor de 200 Centígrados. Este consumo puede variar considerablemente de una fundición a otra. Por ejemplo, una fundición que se encuentre cercana al mar puede utilizar en la casi totalidad del enfriamiento, agua de mar, devolviendo esta al mar una vez utilizada y asegurando que no se produzcan impactos ambientales de consideración debido al cambio de temperatura. Por otra parte se puede utilizar intercambiadores de calor más eficientes en el enfriamiento, reduciendo de esta forma el consumo. También es posible utilizar más agua que la indicada anteriormente.

Los otros procesos en que se usa parte importante del agua son la producción de oxígeno, necesario para hacer más eficiente las reacciones de fusión y el lavado de gases, que se realiza en las plantas de ácido con objeto de remover los sólidos que acompañan los gases.

---

[54] El uso equivalente de agua debe considerar el mantenimiento del camión, el consumo de agua de las personas que manejan y mantienen el camión, el consumo de agua para producir y refinar el petróleo, etc. No se dispone de cifras equivalentes de uso de agua por kilómetro de transporte.

VII. Agua para refinerías electrolíticas

El proceso de refinación electrolítica consiste en electrolizar los ánodos provenientes de la fundición con objeto de eliminar las impurezas, principalmente metálicas, que son del orden de 0,1 a 0,3 por ciento. El cobre depositado en los cátodos durante la electrorefinación debe tener una pureza superior al 99.99%. En la electrorefinación las perdidas de agua se producen fundamentalmente debido a la evaporación y al descarte de soluciones. La primera ocurre en la parte superior de las celdas electrolíticas y está exacerbada debido a que la temperatura del electrólito es de aproximadamente 60 Centígrados. En la actualidad se utilizan pequeñas esferas plásticas que flotan sobre el electrólito y reducen la evaporación en forma muy sustancial.

VIII. Aguas para procesos hidrometalúrgicos

El proceso de lixiviación - extracción por solventes se utiliza desde la década de los 60 para la recuperación de cobre a partir de minerales oxidados de cobre, y desde la década del 80 para la recuperación de algunos sulfuros secundarios, principalmente la calcosina. Durante los ´90, este proceso se ha aplicado en un creciente número de minas debido a su bajo costo de operación, comparado con el proceso tradicional.

El proceso consiste básicamente en que el mineral extraído de la mina es chancado y posteriormente aglomerado con objeto de que cuando se construyen las pilas de lixiviación, la solución lixiviante pueda percolar y entrar en contacto con las diversas partículas que contienen mineral. Durante la aglomeración el mineral se contacta con una solución que contiene ácido sulfúrico con objeto de comenzar el proceso de disolución del cobre. Con posterioridad a la aglomeración el mineral, que contiene aproximadamente un 10% de humedad, se acopia en pilas de unos pocos metros de altura (dos a diez metros), dependiendo de las características del mineral y del lugar, y se riega la superficie superior con una solución ácida. Dicha solución percola al interior de la pila y junto al oxígeno produce la oxidación de los óxidos y sulfuros secundarios de cobre. Este proceso se puede acelerar con la inclusión de otros agentes oxidantes tales como ión férrico, y/o bacterias. Las pilas han sido construidas sobre una superficie impermeabilizada con objeto de recuperar la totalidad de las soluciones y también de evitar la contaminación de aguas superficiales y subterráneas.

La solución recuperada en la parte inferior de las pilas contiene una pequeña concentración (1 a 3 g/l) de cobre, y previo a recuperarlo mediante electroobtención, es preciso elevar su concentración en la solución. Ello se hace mediante el proceso de extracción por solventes, que consiste en la extracción del cobre de la fase acuosa a una fase orgánica y posteriormente la re-extracción del cobre desde la fase orgánica cargada con cobre a una nueva fase acuosa. La concentración del cobre en esta nueva fase acuosa, al cabo del proceso de extracción por solventes, es de aproximadamente 40 g/l. Esta solución denominada fase cargada, se alimenta a la planta de electroobtención.

Una vez que la solución proveniente de la lixiviación es descargada de cobre mediante solventes, se reacondiciona su PH, que ha variado, y se reutiliza en el riego de las pilas. Por último, la solución cargada con cobre que ingresa a la planta de electroobtención, previo filtrado para eliminar impurezas sólidas, es sometida a electrólisis, generándose oxígeno en el ánodo, constituido a partir de una aleación de plomo, y cobre metálico en el cátodo. El producto de la planta de electroobtención es cobre de alta pureza, el que es vendido de

acuerdo a contratos realizados en alguna de las bolsas de metales existentes a nivel internacional.

En la planta de extracción por solventes se descartan las soluciones orgánicas después de numerosos ciclos, debido a la degradación de los reactivos orgánicos y debido a la contaminación de la solución. Durante la vida útil de estas soluciones, estas son lavadas, y el agua requerida para ello es cuantiosa. Los factores más variables en cuanto a consumo son la evaporación en las pilas, el descarte de soluciones (el que depende entre otras factores de la cinética de dilución del mineral) y el lavado de orgánico.

6 – METODOLOGÍA DE ESTIMACIÓN DE BENEFICIOS POR DEFENSA FLUVIAL Y CONTROL DE CRECIDAS

Los proyectos de defensas fluviales tienen por finalidad prevenir las inundaciones por crecidas de los caudales de ríos con regímenes pluviales y nivales aguas arriba de un área determinada. Entre las alternativas de obras de defensas fluviales se encuentran las siguientes:

- Limpieza y rectificación del cauce
- Obras de construcción de defensas fluviales
- Obras de canalización
- Obras de abovedamiento.
- Embalses y sistemas de interconexión de hoyas hidrográficas.

I. Diseño del proyecto

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

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

Mas allá de los antecedentes genéricos que se indicaron en el capítulo de formulación general del proyecto, en el caso específico de los proyectos de defensa fluvial deberán tomarse en consideración los aspectos, los antecedentes que se describen a continuación y en el Apéndice J.

En función de los daños que se espera evitar, se debe plantear la mayor cantidad de ***alternativas técnicas de proyecto*** que den solución al problema[55]. Obviamente, todas las propuestas deberán tener el correspondiente análisis de factibilidad técnica para permitir la efectiva materialización física de las alternativas. Asimismo, como parte de la definición de alternativas, debe optimizarse situación actual, definiendo pequeñas inversiones u obras que podrían obtener parte de los beneficios esperados. Ello implica definir los caudales máximos por debajo de los cuales los daños producidos

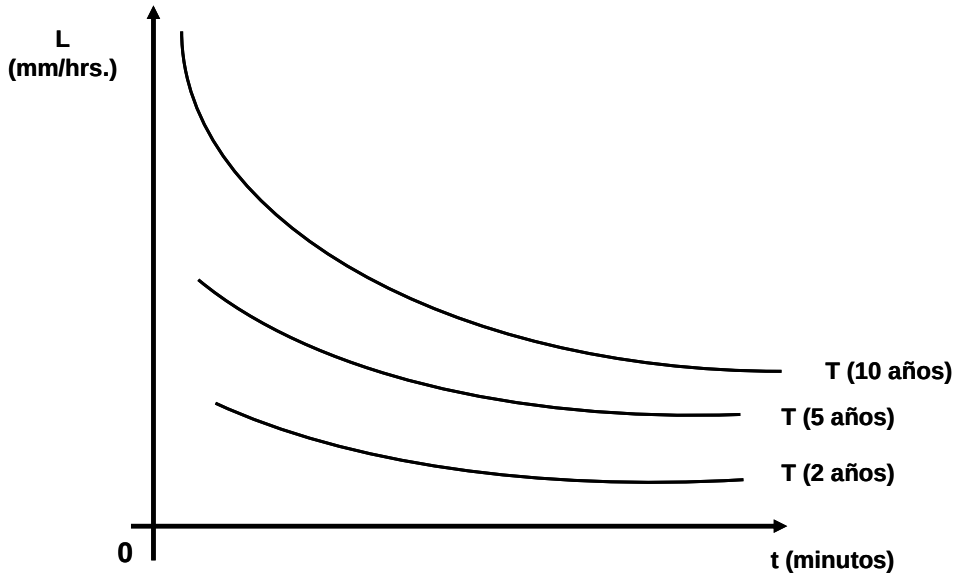
[55] En estas ideas de proyectos, se plantean soluciones para eliminar los puntos de estrechamiento de cauces, regularización de riberas para mejorar su rugosidad, ampliación general del lecho, construcción de defensas en sectores externos al cauce con el fin de limitar las zonas de inundación, canalización, revestimiento de cauces, dar un nuevo trazado al cauce para dar descarga en otros sectores posibilitando deprimir el eje hidráulico, embalses y cualquier otro tipo de obra que permita obtener los beneficios esperados.

no son significativos. En general, obras de limpieza y rectificación de cauces y entubamiento de recursos fluviales pueden constituir un mejoramiento de la situación actual.

La definición de las alternativas implica también_la estimación de las curvas de intensidad – duración – frecuencia para conocer los tamaños de diseño para los períodos de retorno[56] de 2, 5, 10, 25 y 100 años. Esta tarea es de carácter técnico y previa al análisis económico (Figura N°6.1).

Figura N°6.1

Curvas de intensidad – duración – frecuencia



Fuente: Elaboración propia en base a antecedentes varios.

II. Beneficios netos de los proyectos de defensa fluvial y control de crecidas

En proyectos de defensas fluviales y control de crecidas los beneficios corresponden a los ahorros de costos por evitar o disminuir las pérdidas por daños en bienes raíces, bienes muebles, bienes públicos y cultivos, entre otros (reparación o reposición de puentes, reposición y conservación de vías, reparación y mantenimiento de áreas verdes, limpieza de áreas públicas, evacuación y mantención de familias afectadas por inundaciones, reducción de pérdidas de producción agropecuaria, reducción de pérdidas de viviendas, mobiliario, vehículos, establecimientos comerciales, industriales, entre otros). A los anteriores deben sumarse los beneficios asociados a la recuperación de terrenos en las riberas y áreas anegadizas.

Los beneficios del proyecto provienen de daños evitados por menor contacto directo del agua con los diferentes bienes muebles e inmuebles. El monto de estos daños será

[56] Se define como período de retorno a la inversa de la probabilidad de ocurrencia de una inundación para un período de n años.

equivalente a la suma necesaria para la recuperación de los bienes involucrados, devolviéndoles las condiciones que tenían antes de la catástrofe. Si la reconstrucción o restauración es físicamente imposible de realizar, se considera como beneficio el valor presente de la productividad esperada, en el caso que no hubiera sucedido el evento. El Apéndice I desarrolla con mayor detalle estos beneficios.

Para medir y valorar los beneficios de un proyecto que reduce las inundaciones, se pueden aplicar, dependiendo del tipo de beneficio, las siguientes metodologías:

- Precios hedónicos
- Daños evitados y ahorros de costos
- Valoración contingente

La aplicabilidad de los métodos depende fundamentalmente del tipo de beneficio que se espera estimar. En general, para estimar beneficios por daño evitado en el sector turismo, sector urbano (propiedades, infraestructura vial, infraestructura ferroviaria, gastos de emergencia y limpieza de vías y sumideros), sector agrícola y sector portuario, se recomiendan los métodos de daño evitado y precios hedónicos. Para estimar beneficios por recuperación de terrenos anegadizos en general es preferible el método de precios hedónicos, el que también puede utilizarse para estimar los beneficios en propiedades privadas, comerciales e industriales. Para la estimación de los beneficios por disminución de los costos generalizados de viaje, ausentismo laboral y menor probabilidad de enfermedades se utilizan enfoques de ahorros de costos. Por último, para la estimación de beneficios por menores molestias a las personas, pérdidas de vidas humanas y mejora del bienestar y seguridad de las personas, se recomienda el uso de la valoración contingente.

A los fines de la cuantificación y valoración de beneficios netos, esta metodología supone que en la situación SP los deterioros provocados por las lluvias aguas arriba son aluvionales, mientras en la situación CP son inundacionales por la acción regulación atribuida al embalse y obras hidráulicas anexas: dado que en la situación CP la evacuación de los caudales es relativamente controlada, se espera que los deterioros y daños ocasionados por los flujos efluentes sean considerablemente menores a los observados en la situación SP.

En lo que sigue se presenta el instrumental de estimación de beneficios, el que combina los diferentes métodos anteriormente presentados (daño evitado, precios hedónicos, valoración contingente y otros).

a. Beneficios por daño evitado

De acuerdo la teoría de decisiones bajo incertidumbre y suponiendo neutralidad al riesgo, el beneficio por daño evitado asociado a la inundación estará determinado por la esperanza matemática de los menores daños en la situación CP. Así, los beneficios para un año t estarán dados por la siguiente ecuación:

$$Bt = \int_0^{\infty} \left[P(i) * (Csp(i) - Ccp(i)) \right] di$$

Donde,

Bt son beneficios del proyecto en el año *t*;

P(i) es la probabilidad de ocurrencia de la tormenta de intensidad *i*;

Csp(i) es el costo asociado a la tormenta de intensidad *i* en la situación SP;

Ccp(i) es el costo asociado a la tormenta de intensidad *i* en la situación CP;

Esta ecuación corresponde al valor esperado del ahorro de costos para el año *t*, por lo cual considera las tormentas de todas las intensidades entre 0 e infinito, aún cuando en la práctica se adopte como límite de cálculo, una intensidad de muy baja recurrencia (100 años o más). Naturalmente, en la función de costos está implícita la relación intensidad de lluvia – severidad de la inundación y la relación entre severidad de la inundación y daños.

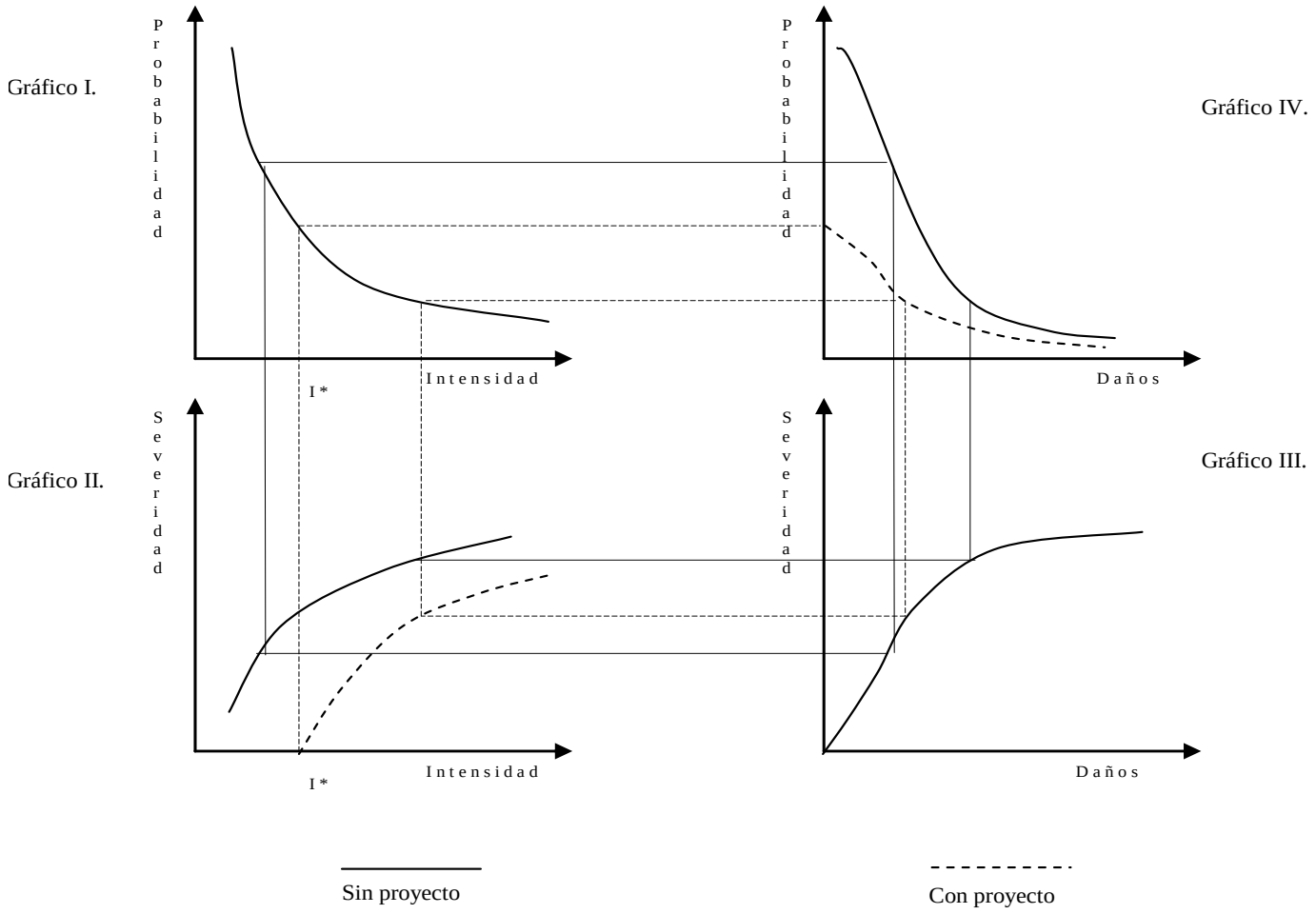
Para cuantificar y valorar los beneficios asociados a un nivel de protección contra inundaciones, este método estima en terreno cada uno de los daños evitados respecto de la situación SP, tanto a los propietarios y usuarios de las viviendas como al resto de los afectados por las inundaciones. En general, la magnitud de los daños producidos en una inundación depende de múltiples factores siendo los más importantes: i) altura media de agua y/o altura local de agua en la zona inundada; ii) velocidad de escurrimiento; iii) época del año en que sucede la inundación; iv) tiempo transcurrido desde la inundación anterior (frecuencia) y v) duración de las mismas. Estas pueden ser evaluadas solamente si se cuenta con registros estadísticos de inundaciones anteriores.

La estimación de beneficios del proyecto se construye a partir de una curva de costos – probabilidad (Figura N°6.2). A mayores niveles de precipitaciones aguas arriba, mayores los grados de severidad de las inundaciones aguas abajo (Figura II). La severidad de una inundación es un fenómeno multivariado, relacionado con la altura del agua sobre la calle, la duración de la inundación, la velocidad de las aguas, el arrastramiento de sedimentos y los contaminantes que puedan acarrear. Distintas configuraciones de estos últimos valores (altura, duración, etc.), producen distintos niveles de severidad. Para distintas severidades de inundación se obtienen diferentes costos, que crecen a medida que la inundación es más severa (gráfico III de la figura).

La curva costos – probabilidad de ocurrencia, se construye a partir de la información anterior. Para un nivel dado de intensidad de inundación (gráfico I), el proyecto provoca una reducción de la severidad (gráfico II), lo cual a su vez conlleva una reducción de los daños (gráfico III) para una determinada probabilidad de ocurrencia de precipitaciones agua arriba (gráfico IV). El desplazamiento hacia abajo de la curva severidad – intensidad es el resultado del proyecto.

Figura N°6.2

Estimación de beneficios por dalo evitado



Fuente: Elaboración propia en base a antecedentes varios.

Las pérdidas anuales por desbordes fluviales en la situación SP se calculan como la esperanza matemática de los daños, multiplicando, a partir de la relación daños – probabilidad de excedencia, el incremento de probabilidad asociado a cada nivel de inundación por el monto de los daños correspondiente. De la suma de todos estos resultados se obtienen las pérdidas anuales esperadas (integral de la curva o área debajo de la curva D1P0 en la Figura N°6.3.

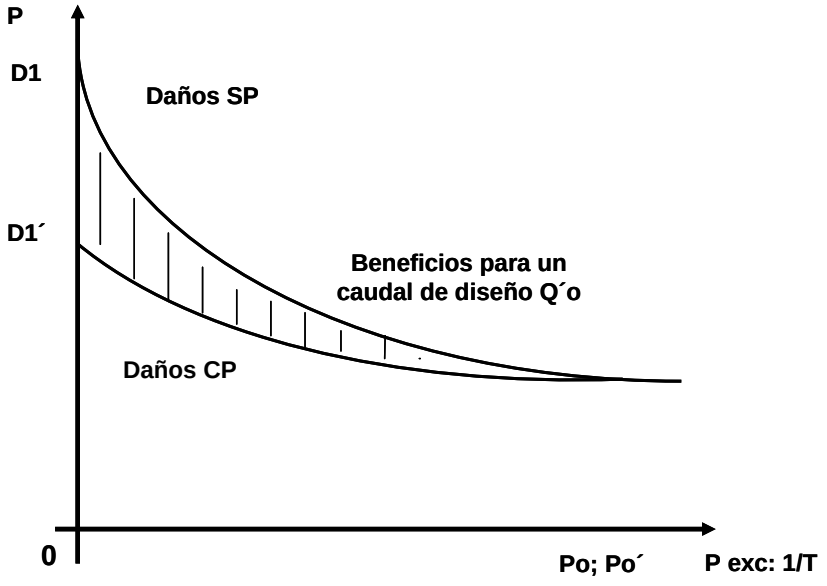
En la situación CP el caudal máximo esperado ***Q1*** generará daños ***D1´*** menores que ***D1***, ya que el volumen de agua de desborde se supone que habrá disminuido. De esta forma, se puede obtener una nueva curva CP que tendrá un valor de daños anuales esperado, menor que el de la situación SP. Luego para un caudal de diseño, ***Q0'*** los beneficios estarán dados por el área ***D1P0P0'D1'***. Se puede así construir curvas de

daños – probabilidad de excedencia para distintos tamaños de obra (período de retorno de diseño).

Por ejemplo, si el embalse es llenado en *x* horas, el caudal efluente puede ser evacuado a través de las obras de desagüe de medio fondo y del vertedero, lo cual provocará daño por inundación aguas abajo. En tanto, si el embalse se llena en *x + 1* horas, el vertedero comenzará a evacuar a través del desagüe de medio fondo, por lo cual el caudal producía daños sólo por 1 hora. Expuesto de otro modo, mientras el ***Volumen Muerto (VM)*** y el ***Volumen de Regulación (VR)*** no se llenen, entonces el caudal evacuado por el embalse será 0 m^3/s. En el caso que VM y VR estén llenos, entonces e1 caudal CP será mínimo 0 m^3/s y máximo será de X m^3/s.

Figura N°6.3

Curvas de intensidad – duración – frecuencia



Fuente: Elaboración propia en base a antecedentes varios.

La velocidad de evacuación[57] depende de la altura de agua y del volumen de regulación de crecidas según la siguiente relación:

$$V = \sqrt{2gh}$$

Donde:

V es la velocidad de evacuación;

g es el cociente de gravedad;

[57] La velocidad es proporcional a la raíz cuadrada del doble de la aceleración de gravedad multiplicado por la altura del nivel de evacuación del agua.

h es la altura del agua, que depende de la topografía de la hoya para diferentes cotas del muro.

i. Beneficio por menor daño en propiedades residenciales y recuperación de terrenos anegadizos

Los beneficios por este concepto se estiman a través del ***Método de Precios Hedónicos***, que se basa en los precios de las propiedades[58]. La función hedónica de un bien puede presentarse como:

$$PX = f\,(z1,\ z2,\ z3,\ z4,\ z5,\ z6,\ldots,\ zn)$$

Donde:

Px es el precio del bien x;

zi son los atributos *i* que tiene el bien x.

Si se incrementa la cantidad de un atributo sin variar la cantidad del resto, el resultado esperado es el incremento del precio del bien *x*. Luego, el precio del atributo, en este caso una menor probabilidad de daño, se obtiene derivando la función de precios hedónicos respecto al atributo incrementado:

$$\frac{\partial Px}{\partial zi} = P(zi) = \Delta P_j$$

Donde

$\boldsymbol{\Delta P_j}$ es el incremento en el precio de los inmuebles de características *j* (diferencia entre tener o no el atributo defensa fluvial y control de crecida)[59];

Tomando la función estimada en la metodología de defensa fluvial de MIDEPLAN (www.mideplan.cl), el cambio en el precio de los inmuebles se estima de la siguiente manera:

$$\frac{\partial Px}{\partial zi} = \varepsilon^{(-0{,}033987*\Delta Severidad+0{,}5*0{,}012^2)-1}$$

Donde:

$\frac{\partial \Delta P}{\partial zi}$ es la variación en el precio de las viviendas al alterar el atributo "probabilidad de sufrir inundación"

---

[58] Una amplia revisión de este método fue realizada en el capítulo de riego, por lo cual se recomienda recurrir a éste a fin de complementar el entendimiento de su aplicación en este caso.

[59] En el caso de las viviendas, su precio se determina por los siguientes atributos: i) Tamaño, orientación y calidad del terreno y edificación; ii) ubicación (accesibilidad a centros de trabajo, comerciales, asistenciales y áreas de recreación), iii) urbanización del barrio y iv) probabilidad de inundarse.

Δ ***Severidad*** es la variación del Índice de Severidad debido a las obras de evacuación y drenaje de aguas lluvias.

El valor obtenido por este método corresponde al valor presente del beneficio esperado por menores daños directos en las propiedades, por lo que corresponde registrarlo en el primer año del flujo de beneficios del proyecto.

La información de precios de las viviendas puede ser obtenida a través de consulta a corredores de propiedades, revisión de avisos de compra – venta de propiedades, opinión experta de corredores inmobiliarios o bien a través de encuestas a los residentes. Alternativamente, puede utilizarse la base de datos del Servicio de Impuestos Internos y corregir dicha estimación por un factor que dé cuenta de la subvaloración de la tasación respecto del valor comercial (se obtiene a través del análisis de una muestra representativa). Luego, la única variable que queda por despejar es la "severidad", que queda determinada de acuerdo a la Figura N°7.A.

Figura N°6.A

Índice de Severidad en función de la Altura de Inundación y probabilidad de Excedencia

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

Fuente: Elaboración propia en base a antecedentes varios.

Si la probabilidad de excedencia está entre 1% y 20%; para todas las tormentas simuladas la altura de inundación no es mayor que 0 centímetros, el indicador de severidad es cero; si es mayor que cero y menor que 10 (sólo inundación en la calle), el indicador es 1; si la altura de inundación es mayor a 10 y menor a 20, el indicador de severidad será 2; si es mayor a 20 centímetros (se inunda el interior de la vivienda) el indicador será 6; este mismo procedimiento se aplica para probabilidades de excedencia de entre 20% y 50% y mayores a 50%.

Desde ya, aplicación de este método requiere de información confiable sobre el precio de las propiedades. Asimismo, estos precios deben estar asociados a predios con diferentes niveles de riesgo de ocurrencia del fenómeno en estudio. Desde un punto de vista práctico, dichas transacciones de terrenos pueden ser reemplazadas por una variable proxi como los avalúos fiscales realizados por el Servicio de Impuestos Internos.

Alternativamente, para evaluar beneficios de las obras en las viviendas, puede utilizarse el ***Método de Valoración Contingente***, a partir de la información provista directamente por los beneficiarios a través de un cuestionario en el que se plantea un escenario hipotético y sobre el cual el individuo "declara" su máxima disposición a pagar (DAP) por un cambio en la cantidad o calidad de un bien determinado[60]. El

[60] También se puede preguntar por la mínima disposición a aceptar compensación; sin embargo, este procedimiento es menos recomendado, ya que la evidencia empírica demuestra que se obtienen valores consistentemente mayores que los obtenidos al preguntar por la máxima DAP (y por lo tanto, eventualmente sobreestimados).

Apéndice K desarrolla con mayor detalle la aplicación del método de valoración contingente en proyectos de embalses y obras hidráulicas anexas.

La desventaja principal de este método es la presencia de sesgos que pueden subvalorar o sobrevalorar la DAP y, por tanto, los beneficios del proyecto. Para minimizar aquello es fundamental el diseño y aplicación de la encuesta[61]. Otra dificultad de aplicación tiene que ver con internalización en las preferencias de los entrevistados de la probabilidad de ocurrencia de las inundaciones. Por ejemplo, no se recomienda aplicar este método en períodos "críticos": después de una lluvia de importancia o después de un período de años secos, ya que las respuestas estarán influenciadas por la experiencia inmediata o más reciente.

ii. Beneficio por menor daño en propiedades comerciales e industriales y organismos públicos

El daño en locales comerciales, industriales y públicos se estima en función de la altura de inundación al interior de la propiedad en la tormenta centenaria, definida como la altura de inundación sobre el nivel de la calle, menos 20 cms[62].

Figura N°6.4

Porcentaje de Daño en función de la Altura de Inundación

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

Fuente: Elaboración propia en base a Metodología de Formulación y evaluación de Proyectos de Aguas Lluvias – MIDEPLAN (2010).

Por tanto, deberá obtenerse información del precio de locales comerciales, industriales y públicos y multiplicar el precio promedio por m2 por la superficie inundable. Los daños CP y SP se estimarán a partir de la información presentada en la Figura N°6.4.

El beneficio por menores daños en propiedades comerciales, industriales y organismos públicos se estima de la siguiente manera:

[61] Un sesgo de importancia es el denominado sesgo estratégico del entrevistado; este se presenta cuando el entrevistado cree que con su respuesta puede influir en la decisión final que se tome sobre la propuesta de proyecto: si tiene la percepción que la solución de los problemas causados por las inundaciones es competencia del Estado y es éste quién asumirá su costo, sobrestimará su DAP; en caso contrario, si el entrevistado cree que le cobrarán en función de su respuesta a la encuesta, subestimará la DAP.

[62] Esto significa que para que se empiece a producir daños al interior del local, la altura mínima (h/mín) de inundación debe ser de 20 cm. sobre el nivel de la calle.

$$BMDCIP = \left[\sum_{f=1}^{m} (DC_f^{sp} - DC_f^{cp}) + \sum_{j=1}^{n} (DI_j^{sp} - DI_j^{cp}) + \sum_{l=1}^{t} (Dp_l^{sp} - DP_l^{cp}) \right] * \Pi_i$$

Donde:

BMDCIP es el beneficio por menores daños en propiedades comerciales, industriales y públicas;

DC_f^{sp} es el daño en las *m* propiedades comerciales en la situación SP;

DC_f^{cp} es el daño en las *m* propiedades comerciales en la situación CP;

DI_j^{sp} es el daño en las *n* propiedades industriales en la situación SP;

DI_j^{cp} es el daño en las *n* propiedades industriales en la situación CP;

DP_l^{sp} es el daño en las *t* propiedades públicas en la situación SP;

DP_l^{cp} es el daño en las *t* propiedades públicas en la situación CP;

Π_i es la probabilidad de ocurrencia de la tormenta *i*;

iii. Beneficio por menor deterioro de la infraestructura vial

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

$$BMDIV = CR^{sp} - CR^{cp}$$

Donde

BMDIV es el beneficio por menores daños en la infraestructura vial;

CR^{sp} es el costo anual esperado de reposición de la infraestructura vial deteriorada por las inundaciones en la situación SP;

CR^{cp} es el costo anual esperado de reposición de la infraestructura vial deteriorada por las inundaciones en la situación CP;

Para la estimación del costo por deterioro de pavimentos, en las situaciones SP y CP se aplica la siguiente ecuación:

$$CR^{sp/cp} = \sum_{i=1}^{n} (\Omega_i^{np} * S_i^{np} * C_i^{np} + \Omega_i^{p} * S_i^{p} * C_i^{p}) * \Pi_i$$

Donde:

Ω_i^{np} es el coeficiente de rotura para calles no pavimentadas asociado a la inundación *i*;

S_i^{np} es la superficie no pavimentada que es inundada por la tormenta *i*;

C^{np} es el costo de reparación de las calles no pavimentadas;

Ω_i^{p} es coeficiente de rotura para calles pavimentadas asociado a la inundación i;

S_i^{p} es la superficie pavimentada que es inundada por la tormenta *i*;

C^p es el costo de reparación de las calles pavimentadas;
Π_i es la probabilidad de ocurrencia de la tormenta *i*;
El supuesto que subyace a esta estimación de beneficio es el que la reposición del pavimento no se efectuará después de cada evento; sino que una vez al año. Los coeficientes de rotura, función de la altura de inundación, se presentan en la Figura N°7.B. Los antecedentes específicos de la zona en estudio deberán obtenerse de MINVU, SECTRA y DV del MOP, entre otros

Figura N°6.B

Coeficiente de Rotura (Ω) en función de Altura de Inundación

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

Fuente: Elaboración propia en base a Metodología de Formulación y evaluación de Proyectos de Aguas Lluvias – MIDEPLAN (2010).

iv. Beneficios por daños evitados en el sector agrícola

Las inundaciones agua reducen la capacidad de utilización de los terrenos adyacentes en los momentos en que se producen pues afectan el uso de los terrenos agrícolas, reducen o destruyen siembras y plantaciones, y producen problemas en la masa ganadera en sentido amplio (incluye ganado bovino, ovino o de aves de corral y otros).

Desde el punto de vista de la productividad agrícola, los daños evitados se pueden clasificar en:

- ***Daño al suelo, cultivos e infraestructura de riego intrapredial***: corresponde a la pérdida de cosecha, estimada como el promedio ponderado de los ingresos por ventas[63].
- ***Infraestructura de Riego Extrapredial***: corresponden a la pérdida de embalses inter-turnos y sus canales de distribución, estimados a partir del costo de reposición.
- ***Viviendas Rurales***: con la misma metodología aplicada al área urbana se estima el valor de estas, considerando los daños a los sistemas de sanitización, recuperación habitacional y enseres, entre otros.

[63] Los *daños parciales* corresponden a la superficie cultivada que sufre daños por depósito de sedimentos, sin daño al suelo que lo sustenta. El costo de recuperación de suelo por hectárea se estima tomando en cuenta la pérdida total del cultivo que se encontraba en etapa de cosecha, agregando el costo de reposición de las cintas de riego y limpieza de suelo. Los *daños totales* corresponden a las la pérdidas de cultivos en etapa de cosecha, el costo de reposición de la infraestructura de riego intrapredial y reposición del suelo.

El beneficio neto por menores pérdidas de producción se estima de la siguiente manera:

$$BMDAgric = \left[\sum_{f=1}^{m} (DAgric_f^{sp} - DAgric_f^{cp}) \right] * \Pi_i$$

Donde:

BMDAgric es el beneficio por menores daños en propiedades agrícolas;

$\boldsymbol{DAgric_f^{sp}}$ es el daño en las *m* propiedades agrícolas en la situación SP;

$\boldsymbol{DAgric_f^{cp}}$ es el daño en las *m* propiedades agrícolas en la situación CP;

$\boldsymbol{\Pi_i}$ es la probabilidad de ocurrencia de la tormenta *i*;

Alternativamente, las pérdidas de productividad de los predios agrícolas pueden estimarse a partir del valor de los terrenos dado que, en equilibrio, su precio es el valor presente de los flujos futuros de beneficios que producen a sus propietarios. Así, dos terrenos con iguales atributos, presentarán diferentes flujos de beneficios netos:

BN1 BN2,... BNt..., (el no inundable) y

BN1 BN2,... BNinunda t …, (el inundable en el año t)

Entonces el precio del terreno no inundable (PNI) será:

PNI = VAN (BN1 BN2,... BNt....),

En tanto el del terreno inundable (PI) será:

PI = VAN (BN1 BN2,... BNinunda (t ... BNinunda [t+r] ... BNinunda [t+s] ...).

Y dado que:

BNt > BNinunda t, entonces ***PNI > PI***.

Los beneficios privados internalizados en el precio dependen de la severidad de las inundaciones, pero además de la frecuencia de las mismas.

b. <u>Beneficios por disminución de los Costos Generalizados de Viaje</u>

Cuando el proyecto provoca menores inundaciones, permite que los viajes urbanos e interurbanos mejoren su estándar de servicio, obteniéndose un beneficio por ahorros de los costos de viaje (por mayor velocidad de circulación, básicamente). La estimación de este tipo de beneficios se efectúa sobre la base de la siguiente ecuación:

$$BACGV = CGV^{sp} - CGV^{cp}$$

Donde:

BACGV es el beneficio por ahorros de costos generalizados de viaje (CGV);

$\boldsymbol{CGV^{sp}}$ es el costo generalizado de viaje en la situación SP;

$\boldsymbol{CGV^{cp}}$ es el costo generalizado de viaje en la situación CP.

Asimismo, el costo de viaje se descompone de la siguiente manera:

$$CGV = Cc + Ct$$

Donde:

CGV^{sp} es el costo generalizado de viaje;

Cc es el costo del combustible por motivo de viaje;

Ct es el costo de tiempo de viaje.

Los costos de combustible y tiempo pueden descomponerse de la siguiente manera:

Cc se estima mediante la siguiente ecuación:

$$Cc = \left[\frac{L}{\eta} * P * F * \sum_{i=0}^{n} \Pi_i * T_i \right] * E$$

Donde,

Cc es el costo de combustible;

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

η es el rendimiento del vehículo (Km./litro);

P es el precio del combustible ($/litro);

F es el lujo vehicular entrante al área de inundación (vehículos equivalentes / hora);

Πi es la probabilidad cruzada de ocurrencia de la tormenta i, fPP,D(PPi,Di);

Ti es la duración de la inundación producida por la tormenta i (horas);

E es el número de eventos de lluvia al año que producen inundaciones;

Figura N°6.C

Rendimiento de Vehículos en Función de Altura de Inundación

Altura del agua (metros)	Variación de η (%)	η (Km./litro)
0 -0,05	100	7,0
0,05 -0,15	80	5,6
0,15 -0,20	60	4,2
0,20 -0,25	40	2,8
0,25 -0,30	20	1,4
Más de 0,30	No se puede circular	No se puede circular

Fuente: Elaboración propia en base a Metodología de Formulación y evaluación de Proyectos de Aguas Lluvias – MIDEPLAN (2010).

La probabilidad cruzada de ocurrencia de la tormenta i es la probabilidad de que se produzca una tormenta de intensidad PP_i y de duración D_i, la cual se obtiene al multiplicar la probabilidad asociada a la intensidad (período de retorno) por la asociada a la duración. El rendimiento de los vehículos será función de la altura de inundación, según muestra la Figura N°6.C. Cuando el agua sobrepasa los 30 centímetros y no se puede circular, para fines de evaluación se sugiere utilizar el mismo costo que se obtiene para una altura entre 25 y 30 centímetros. La estimación de costos se efectuará para las situaciones CP y SP en las calles que la simulación computacional de tormentas indique que se inundan.

El costo de tiempo de viaje (***Ct***), se calcula con la siguiente fórmula:

$$Ct = \left[t * N_1 * V_t * \sum_{i=0}^{n} \Pi_i * T_i \right] * E$$

Donde:

Ct es el costo de tiempo de viaje;

t es tiempo de viaje;

N_1 es el flujo vehicular por tasa de ocupación;

V_t es el valor del tiempo de viaje de los pasajeros para transporte urbano que entrega anualmente MIDEPLAN;

Πi es la probabilidad cruzada de ocurrencia de la tormenta i;

Ti es la duración de la inundación producida por la tormenta i (horas);

E es el número de eventos de lluvia al año que producen inundaciones;

A su vez la velocidad de circulación durante la inundación (Km./hr) y que se estima como:

$$V_t = C_v * V_n$$

Donde:

V_t es el valor del tiempo de viaje de los pasajeros;

Cv es el coeficiente de reducción de la velocidad en función de la altura de inundación;

Vn es la velocidad de circulación en condiciones normales (Km./hora);

La Figura N°6.D presenta los valores de ***Cv*** en función de la altura de inundación.

Figura N°6.D

Valores Cv en Función de Altura de Inundación

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

Fuente: Elaboración propia en base a Metodología de Formulación y evaluación de Proyectos de Aguas Lluvias – MIDEPLAN (2010).

c. Beneficios por Menor Ausentismo Laboral

Los beneficios por ***menor ausentismo laboral*** corresponden a las pérdidas de netas productividad del país porque las personas no pueden llegar a su lugar de trabajo o lo hacen con mayores demoras. Dado que el tiempo que las personas no destinan a trabajo lo hacen a ocio, la pérdida neta de productividad debe medirse como la

diferencia entre el valor de tiempo de trabajo y de ocio, multiplicado por la probabilidad de ocurrencia de los eventos de inundación:

$$BMAL = \sum_{i=0}^{n} (VST_i^T - VST_i^O) * \Pi_i$$

Donde:

BMAL es el beneficio por menor ausentismo laboral;

$\boldsymbol{VST_i^T}$ es el valor social del tiempo trabajado;

$\boldsymbol{VST_i^O}$ es el valor social del tiempo de ocio;

$\boldsymbol{\Pi_i}$ es la probabilidad cruzada de ocurrencia de la tormenta i;

La valoración de los beneficios constituye una simplificación que puede subestimar considerablemente los beneficios del proyecto. No obstante, se propone por su facilidad de estimación. Asimismo, a los fines de la estimación y suponiendo que las mayores pérdidas por ausentismo laboral por inundación se producen en el área urbana, se propone utilizar el valor social del tiempo urbano publicada por MIDEPLAN.

d. Beneficio por menores molestias a las personas

El uso de la metodología de precios hedónicos para estimar los ***beneficios por menores molestias a las personas*** a través del precio de las propiedades residenciales permite captar parte de los beneficios obtenidos por los propietarios de las viviendas que en la situación CP sufren menores molestias. No obstante, si la metodología de precios hedónicos no permite captar tales beneficios, se recomienda utilizar la metodología de valoración contingente.

e. Beneficios No Cuantificados

Los proyectos de defensa fluvial y control de crecidas tienen otros beneficios que, a los fines de simplificación, no se cuantificarán. No obstante, el formulador podría cuantificarlos y valorarlos, si así lo estima pertinente y conveniente. Entre otras metodologías, puede utilizarse el enfoque de valoración contingente, principalmente y el daño evitado.

En el caso de los ***beneficios por menores gastos de emergencia y limpieza de vías y sumideros*** sólo es relevante estimar los gastos adicionales (en el margen) que se ahorran debido al proyecto, ya que existe una estructura fija de emergencia en Municipalidades, Agencia Nacional de Emergencia, Servicio de Vivienda y Urbanismo, Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas u otro organismo relacionado con el tema. y demás organismos relacionados con las emergencias, que no se afecta por la intensidad de las inundaciones.

Sobre la base de las calles que se inundan de acuerdo con las simulaciones computacionales de las tormentas, para las situaciones SP y CP se debe estimar el

número de cuadrillas adicionales a las normales (personal contratado especialmente o redestinado de otras funciones) que intervendrán en las faenas de limpieza de calles después de cada tormenta en estudio; el costo por cuadrilla se obtiene de las fuentes indicadas anteriormente.

El ***beneficio por menores enfermedades de las personas*** corresponde a los ahorros en el sistema nacional de salud; si se espera estimar tales beneficios, debe realizarse un cuidadoso tratamiento de la información a fin de ajustar los precios obtenidos a los verdaderos precios sociales.

III. Costos de los proyectos de defensa fluvial y control de crecidas

A los costos asociados al proyecto de embalse y obras hidráulicas anexas deben asociarse los costos de inversión y mantenimiento de las obras de defensa fluvial y control de crecidas, asociados a los períodos de retorno de diseño estudiados: i) ***movimiento de tierra***: excavaciones, construcción de fosos revestidos, relleno, retiro y transporte de excedentes, entre otros; ii) ***obras de hormigón***: revestimiento de fosos, bajadas de agua, sumideros, descargas y cámaras de inspección, entre otros; iii) ***suministro y colocación de tuberías***. Los costos de mantenimiento podrían estimarse como un porcentaje de la inversión, dependiendo del tipo de obra. Para efectos de la evaluación social los montos de inversión deben corregirse a precios sociales.

APÉNDICE J

GUIA GENERAL PARA LA ESTIMACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS DE SERVICIOS DE DEFENSA FLUVIAL Y CONTROL DE CRECIDAS

En base a diferentes antecedentes deberá realizarse un acabado diagnóstico de las condiciones actuales del cauce, describiendo el origen del problema que se desea solucionar. Entre los principales antecedentes, debe disponerse de los antecedentes hidrológicos.

Debe disponerse de un estudio hidrológico del río, con el fin de determinar los caudales de diseño, que definirán el dimensionamiento apropiado de las obras. Para ello deben seleccionarse las estaciones pluviométricas y fluviométricas existentes en o próximas al área de estudio y su cuenca aportante, a fin de analizar, corregir, ajustar y extender la estadística correspondiente a un período común que sea lo más reciente posible.

Los resultados obtenidos se confrontarán adoptándose finalmente una serie de caudales de crecidas asociados a diferentes períodos de recurrencia. Esos períodos pueden ser de 2, 5, 10, 50 y 100 años y deben estar asociados a determinados caudales máximo instantáneos que definen el volumen de regulación de crecidas, las obras de desagüe de medio fondo y el caudal máximo de salida correspondiente (la velocidad de salida depende de la altura del nivel de agua del embalse sobre el desagüe de medio fondo que determina el caudal medio de evacuación. De esta forma, se estiman las horas en las cuales se completa el volumen de regulación de crecidas para un determinado período de retorno.

I. Antecedentes topográficos y geomorfológicos

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

II. Áreas de inundación

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

III. Beneficios de proyecto

a. Reposición y recuperación de infraestructura en el sector turismo

Corresponde a los daños registrados en lugares de interés turístico y que resultan dañados por las crecidas, motivando que los turistas se desplacen otros destinos y los gastos correspondientes a la limpieza de sedimentos.

b. Reposición y recuperación de infraestructura en el sector urbano

Para estimar los daños de este sector se recomienda utilizar la metodología de aguas lluvias de MIDEPLAN, corregida con las especificaciones que a continuación se describen. La metodología establece un procedimiento para determinar los daños por inundación en las

propiedades residenciales e industriales, estimándose un porcentaje del valor de ellas de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$Dp = (Sr \ x \ Vr + Si \ x \ Vi) \ x \ Pd$$

Donde,

Dp es daño a la propiedad;

Sr es superficie de propiedades residenciales en área inundada;

Vr es valor promedio de las propiedades residenciales (incluye construcción y terreno;

Si es superficie de propiedades industriales en área inundada;

Vi es valor promedio de las propiedades industriales (incluye construcción y terreno);

Pd es porcentaje de daños en la propiedad. Éste variará en función de la altura del nivel de agua de la inundación.

Las inundaciones producen daños materiales en las propiedades afectadas y también daño por lucro cesante, producto de la imposibilidad de sus dueños de continuar normalmente con sus actividades. El ***beneficio por reposición y recuperación de propiedades*** dependerá del tipo de agente que se vea afectado:

- Residenciales

Corresponde a los menores daños que sufren las personas que viven en el sector afectado. Los daños materiales corresponden a daños a la propiedad (deterioro de pisos y muros, jardines) y la pérdida o deterioro de enseres (muebles, electrodomésticos, entre otros)

- Industriales

Corresponde a los menores daños que sufren las industrias que se localizan en el área afectada por las inundaciones. Los daños materiales consisten básicamente en pérdida o deterioro de equipos e instalaciones, así como el deterioro o pérdida de insumos y productos terminados o en proceso. Los daños por lucro cesante corresponden a la menor producción generada por la imposibilidad de operar normalmente.

- Comerciales

Corresponde a los menores daños que sufre el comercio que se localiza en el área afectada por las inundaciones. Los daños materiales consisten básicamente en pérdida o deterioro de equipos e instalaciones, así como el deterioro o pérdida de productos. Los daños por lucro cesante corresponden a las menores ventas que se producen por la imposibilidad de operar normalmente. Cabe tener presente que el beneficio por disminución del lucro cesante no necesariamente representa un beneficio social en su totalidad, ya que las menores ventas que experimentó un determinado comercio se pueden haber traducido en mayores ventas en otro comercio o bien, porque los consumidores sólo postergaron su consumo.

- Organismos Públicos

Corresponde a los menores daños que sufren los edificios y equipamientos de instituciones públicas como Carabineros, Consultorios, Colegios, Bomberos y otros, ubicados en áreas actualmente afectadas por inundaciones. Adicionalmente, en la situación sin proyecto pueden verse afectadas sus actividades normales, con el consiguiente costo para los usuarios, por lo que el proyecto al evitar este efecto, generará un beneficio adicional.

En el caso de los ***beneficios por recuperación de terrenos anegadizos***, el proyecto, al reducir los efectos de las inundaciones, incrementa el potencial del terreno, permitiendo que se desarrollen actividades de mayor valor económico (los terrenos baldíos anegadizos tienen restricciones en términos de las actividades que pueden desempeñarse en ellos y por lo general, están limitados a cumplir un rol de áreas verdes o equipamiento comunitario).

La infraestructura vial, específicamente la carpeta de rodadura, sufre daños durante las inundaciones producto de la infiltración del agua por grietas existentes en el pavimento, por lo cual el proyecto genera beneficios por ***reposición y recuperación de infraestructura vial urbana***. Esto implica adelantar los trabajos de conservación o, en un caso extremo, la reposición de la carpeta de rodadura dañada. El proyecto, al mejorar la capacidad de escurrimiento superficial de las aguas, disminuye los efectos dañinos de las aguas lluvias sobre la carpeta de rodadura, por lo que se produce un beneficio por este concepto. Estas obras incluye toda la infraestructura vial: calles, rutas, caminos rurales y puentes, entre los principales.

Finalmente, el ***beneficio por reposición y recuperación de infraestructura ferroviaria*** corresponde a los daños evitados en todo tipo de infraestructura de ese tipo, incluyendo la limpieza y reparaciones menores.

c. Disminución de los Costos Generalizados de Viaje

Las inundaciones de calles y avenidas producen un impacto negativo sobre el tránsito vehicular de la red vial afectada, entendiendo por ésta no sólo la red que sufre de anegamientos, sino que también aquélla que no se encuentra anegada pero que se ve afectada por reasignaciones de tránsito desde sectores anegados. Los usuarios de las vías inundadas se verán afectados, ya sea por que deberán circular a una velocidad inferior a la deseada, o bien, por que deberán modificar su ruta de viaje hacia alternativas con mayores Costos Generalizados de Viaje (CGV).

En el caso de los usuarios de las vías que no sufren de anegamiento, se verán afectados por la reasignación de vehículos desde las vías anegadas, lo que incidirá negativamente en la velocidad de circulación por esas vías. Este efecto sobre la velocidad de circulación incide en un aumento de los CGV, los cuales dependen principalmente de la valoración del tiempo empleado en el viaje y del costo de operación de los vehículos (combustibles, neumáticos, entre otros). El proyecto, al mejorar la capacidad de escurrimiento superficial de las aguas, aumenta el nivel de servicio de las vías y por lo tanto, permite un ahorro en los CGV.

d. Disminución de ausentismo laboral

Al inundarse los sectores residenciales, sus habitantes pueden tener problemas para desplazarse a sus lugares de trabajo, causando ausentismo laboral. Esto tiene un efecto negativo sobre las actividades productivas desempeñadas, lo que se refleja en una pérdida de producción. La ejecución del proyecto permite reducir los efectos de las inundaciones y, por lo tanto, produce un beneficio asociado al menor ausentismo laboral.

e. Menores gastos de emergencia y limpieza de vías y sumideros

Producto de las inundaciones, los sectores público y privado deben prestar ayuda a los afectados por las inundaciones mediante la entrega de enseres y la habilitación de lugares de albergue, así como realizar trabajos de emergencia para aliviar la situación de los sectores más

afectados (desvío de cauces, entrega de sacos de arena, entre otras acciones) y realizar actividades para el mejoramiento de las condiciones sanitarias de las personas.

Así también, debe realizarse una serie de trabajos para limpiar las vías y sumideros de los sedimentos arrastrados durante las lluvias. El proyecto, al reducir los efectos de las inundaciones, permite un ahorro en los gastos de emergencia y limpieza de vías y sumideros.

f. Menor probabilidad de enfermedades

Una de las consecuencias de las inundaciones es el aumento de enfermedades entre las personas cuyas viviendas fueron afectadas. Esto produce mayores costos en consultas y tratamientos médicos, tanto a las personas como a los servicios médicos a los que éstas acuden, además de las molestias y sufrimiento de las familias afectadas. El proyecto, al reducir los efectos de las inundaciones, genera un beneficio por ahorros de costos.

g. Menores molestias a las personas

Las personas que viven en sectores afectados por inundaciones sufren molestias por la alteración temporal de la forma habitual de vida (por ejemplo, no poder salir a realizar actividades no laborales) y por molestias tales como mojarse los zapatos y la ropa al cruzar las calles, entre otras. Por su parte, las personas cuyas viviendas se inundan sufren molestias adicionales debido a que deben trasladarse a residencias temporales en otros lugares (albergues), etc. El proyecto, al reducir los efectos de las inundaciones, genera un beneficio por menores molestias a las personas.

h. Reposición y recuperación de infraestructura en el Sector Portuario

En ciudades costeras afectadas por inundaciones provocadas aguas arriba en el valle, deben estimarse los potenciales beneficios por ahorro de costos en reparación y reposición de obras portuarias; básicamente obras de dragado y limpieza del embancamiento y sedimentación de los sitios de atraque.

i. Reposición y recuperación de infraestructura en el sector agrícola

Los terrenos después de ser inundados se recuperarán en forma natural con materiales en suspensión que traen las aguas del río y en forma artificial mediante la habilitación de suelos antrópicos (suelos preparados por el hombre). Atento a ello, los beneficios deben estimarse suponiendo que los suelos destruidos serán rehabilitados.

j. Pérdidas de vidas humanas

La estimación del valor por concepto de las pérdidas humanas que pudieran ocurrir a causa de inundación es compleja. Por ello, es uno de los puntos que podría ser explicitado a nivel de identificación y cuantificación de los beneficios y costos. No obstante, la alternativa de valoración es mediante cuantificación de la población habitante en la situación actual, estimar las pérdidas de producción en función de su participación en los diversos sectores productivos de la zona afectada por el proyecto.

k. Beneficios Intangibles

Se define como beneficios intangibles a todos aquellos de difícil cuantificación y valoración. En este caso, los relacionados por ejemplo a la mejora y el bienestar y seguridad de las personas.

APÉNDICE K

GUIA GENERAL PARA LA APLICACIÓN DEL MÉTODO DE VALORACIÓN CONTINGENTE EN PROYECTOS DE EMBALSES Y OBRAS HIDRÁULICAS ANEXAS

Para obtener el valor económico del bien en estudio, se debe definir cuál es el cambio en el recurso que se quiere valorar y cuál es la población significativamente afectada por este cambio. Luego, se utilizan encuestas donde se crea un mercado hipotético y se pregunta por la máxima disposición a pagar (DAP) o a aceptar (DAA) por el cambio en el bien ambiental. Finalmente, con la información recopilada se realiza una estimación econométrica de la DAP media de la población y se estima el valor total asignado al recurso.

I. Origen del Método de Valoración Contingente (MVC)

Los orígenes del método se remontan al año 1947 cuando Ciriacy - Wantrup sugirió el uso de entrevistas directas para medir los valores asociados a los recursos naturales. Sin embargo, fue Robert K. Davis quién a principios de los sesentas, desarrolló este método como parte de su tesis doctoral para estimar el valor de los Bosques de Maine para un grupo de cazadores y excursionistas. Robert K. Davis prescindió del método directo debido a que conoce la actitud negativa hacia la vida salvaje de los granjeros que debía encuestar, la cual impide realizar una estimación certera. Esto lo motiva para desarrollar un sistema en que el encuestador "subasta" distintos escenarios potenciales para determinada situación hasta que el encuestado "compra" uno, fijándose de esa manera el monto en que se valora el proyecto que permite cambiar del escenario actual al escenario hipotético subastado.

Después de su creación, el método ha sido aceptado por su uso en distintas situaciones, algunas tan importantes como el derrame de petróleo en las costas de Alaska del barco petrolero Exxon Valdez ocurrido el 24 de marzo de 1989. Más aún, en 1979, el Water Resource Council de los EE.UU. recomendó el uso de este método para valorar beneficios en inversiones públicas, y en 1986 en el Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability Act (CERCLA) se le reconoció como un método apropiado para medir beneficios (y daños), consolidando así su respetabilidad (Habb y McConell, 2002).

Como se señaló, este método estima en forma directa, por medio de encuestas, la valoración que otorgan las personas a los cambios en el nivel de bienestar, asociados a una modificación en las condiciones de oferta de un bien ambiental, y ha sido ampliamente utilizado para cuantificar monetariamente beneficios y daños ambientales (Mitchell y Carson, 1989; Azqueta, 1994; Hoevenagel, 1994; Melo y Donoso, 1995; Carson et al., 1997; Shackley y Dixon, 2000). Esta amplia difusión en su uso se explica porque en muchas ocasiones es el único método factible de utilizar (por ejemplo, cuando es imposible establecer un vínculo entre la calidad del bien ambiental y el consumo de un bien privado), además, de constituir la única técnica de valoración que permite medir valores de uso y de no uso (Bojö et al., 1992; Brown y Duffield, 1995; Carson et al., 1997).

II. Análisis de los sesgos del MVC

Al emplear el Método de Valoración Contingente se debe considerar una serie de sesgos que pueden surgir en su aplicación, pues como se dijo, los resultados obtenidos pueden presentar problemas. Los sesgos se dividen en i) sesgos instrumentales (sesgo del punto de partida, de la forma de pago, de la información, del entrevistador) y ii) sesgos no instrumentales (sesgo

por respuesta de protesta, sesgo estratégico y efecto incrustación), los cuales se analizan a continuación.

1. Sesgo del Punto de Partida

Cuando el formato de pregunta va en forma ascendente o descendente en forma lineal, el encuestado puede basarse en el valor inicial para formarse una idea de cuál debe ser su respuesta. Esto se comprueba al observarse que al comenzar con valores bajos se obtienen resultados finales mucho más bajos que al iniciar la pregunta con un valor alto. Para solucionar este sesgo se pueden usar preguntas dicotómicas.

2. Sesgo de la Forma de Pago

La forma de pago puede determinar el valor final de la DAP según sean sus características. No es igual para el encuestado que le cobren mediante un alza de impuestos a que le cobren por cada vez que usa el bien público. Según algunos autores este sería un sesgo muy menor, y además es fácilmente superable, realizando una preencuesta para encontrar la forma de pago más adecuada a cada encuestado.

3. Sesgo de Información o de Escenario

El encuestado debe contar con cierta información para poder formarse una opinión del valor que para él tiene el objetivo de la valoración. Si la persona está desinformada, claramente no entregará su máxima DAP. Este sesgo se soluciona entregando información adecuada antes de proceder con las preguntas. Es muy importante que el encuestador sea capaz de transmitir el escenario bajo el cual se está realizando el estudio.

4. Sesgo del Entrevistador

Existe una presión, voluntaria o involuntaria, ejercida por el encuestador que fuerza a quien responde a quedar bien a ojos del encuestador y a entregar valores mayores a su verdadera DAP. Esto se soluciona haciendo encuestas impersonales (vía correo normal, correo electrónico, página Web y en menor medida, teléfono)

5. Sesgo por Respuesta de Protesta

Cuando el encuestado tiene una DAP igual a cero por un bien, puede que éste sea el verdadero valor o puede que sea una respuesta de protesta ante el planteamiento que se le hace. Este problema se soluciona mediante la incorporación de preguntas de seguimiento (por ejemplo, por qué razón pagaría cero).

6. Sesgo Estratégico e Incentivos a decir la verdad

Puede ocurrir que el encuestado intente influir en el estudio para cambiar los resultados finales, para lo cual entregará valores muy exagerados respecto a su verdadera DAP. Este problema no es severo y puede atenuarse usando preguntas cerradas. Por el contrario, puede ocurrir que el encuestado no tenga interés alguno en el tema, por lo que no contestará en forma concienzuda. Esto se soluciona preguntando el grado de interés en el tema y considerándolo al momento de analizar los datos.

7. Efecto Incrustación

El efecto incrustación se refiere a la diferencia en las DAP obtenidas para un mismo bien cuando se considera una porción específica del bien o el bien en forma total. Por ejemplo, al hacer un estudio para obtener el valor de una hectárea de bosque nativo, éste diferirá si se pregunta por la DAP para conservar todo el bosque nativo de un país o si se pregunta por

conservar una hectárea determinada de bosque nativo (en este caso se encontrará que la DAP es mayor). Algunos autores creen que esto responde a una satisfacción moral y eso lleva a valorar más al bien en forma individual que en forma genérica.

Las consecuencias del efecto incrustación y su importancia dentro del análisis del Método de Valoración Contingente han sido analizadas por Núñez y Schokkaert (2002). Ellos sugieren que si bien el efecto incrustación debe ser tratado con cuidado, cuando el Método de Valoración Contingente es bien utilizado, no compromete la utilidad del mismo, y de hecho, debe ser considerado como un elemento de la DAP de las personas.

Algunos autores no consideran el efecto incrustación como un sesgo o un problema, sino como una característica del Método de Valoración Contingente, muy consecuente con la teoría económica pues se fundamenta en las sustituciones de componentes (Bjornstad y Kahn, 1996).

Sin embargo, en los estudios empíricos se ha encontrado escasa evidencia de sesgos por preguntas hipotéticas. Esto se minimiza, con la especificación de un escenario lo más realista posible y la formulación de preguntas cuyas posibles respuestas tengan sentido para los entrevistados (Melo y Donoso, 2000).

III. Aplicación del MVC

La ruta que a continuación se presenta corresponde a la aplicación del Método de Valoración Contingente[64]. Este método usa encuestas para obtener de las personas sus preferencias por bienes generalmente de tipo público, reflejadas en la cantidad de dinero que ellas estarían dispuestas a pagar por determinadas mejoras en esos bienes, o en su defecto, cuál sería su disposición a aceptar frente a un deterioro del bien evaluado.

Mitchell y Carson (1989) mencionan que si las encuestas están bien diseñadas y son previamente testeadas, las respuestas de los entrevistados a las preguntas de valoración deberán representar disposiciones a pagar válidas. Si la muestra es seleccionada meticulosamente en términos de procedimientos de muestreo al azar, si la tasa de respuesta es lo suficientemente alta y si se realizan los ajustes necesarios para compensar los participantes que no respondieron o que dieron información de mala calidad, los resultados pueden ser generalizados a la población de la cual se tomó la muestra con un margen de error conocido.

Según Mitchell y Carson (1989) la encuesta se compone de tres grandes partes. La primera parte corresponde a una descripción detallada del bien que se quiere valorar y de las circunstancias hipotéticas bajo las que se encontraría el encuestado (construcción del mercado hipotético). En este sentido, el investigador construye un modelo de mercado suficientemente detallado y tan real como sea posible. Este modelo le será entregado al encuestado en forma de escenario, el que es leído por el encuestador.

La segunda parte está compuesta por las preguntas para obtener la DAP por el bien por parte del encuestado. Estas preguntas deben estar diseñadas de manera que permitan facilitar el proceso de valoración sin introducir sesgos en las respuestas del encuestado. La tercera parte está conformada por las preguntas sobre características del encuestado (edad, sexo, ingreso, otros), sus preferencias sobre el bien y el uso que harían del bien. Esta información se usa en

[64] Ver Análisis de Técnicas de Evaluación de Proyectos de Protección de Riberas de Cauces Naturales de Fundación Economía y Administración UC, 2008. Asimismo, corresponde a la misma metodología descrita por El Departamento de Ingeniería Industrial de la Universidad de Chile.

ecuaciones de regresiones para estimar los elementos significativos en la valorización del bien.

Es importante saber que existen distintas formas de presentar las preguntas para obtener la DAP (segunda parte de la encuesta). Por una parte se pueden presentar: i) escenarios simples, donde se va obteniendo la respuesta del encuestado frente a cada uno de ellos, lo que es análogo a hacer preguntas con dos alternativas de respuesta, es decir, preguntas binarias (Louviere et al, 2000); o bien ii) escenarios múltiples, donde hay más de dos alternativas (existiendo alternativas que implican mayor cantidad de categorías de respuesta o una opción de no contestar, por ejemplo) y donde las preguntas no siempre tienen que contener igual número de alternativas (una pregunta puede tener 2 alternativas de respuesta y la siguiente puede tener 4 alternativas de respuesta).

La principal ventaja que conlleva el uso de escenarios múltiples es que permite aumentar la calidad de los datos obtenidos pues entrega un mejor nivel de precisión estadística. Se tiene un mejor control de los efectos i) principal (similar a autocorrelación); ii) de interacción (similar a correlación); iii) propio (se refiere al efecto de una alternativa en sus propias opciones) y iv) cruzado (se refiere al efecto de una alternativa en opciones de otra alternativa) (Louviere, et al, 2000).

Por otra parte, en relación al formato que adquieren las preguntas de valoración contingente, existen principalmente tres variantes: i) una pregunta abierta donde se le pide al entrevistado que exprese su máxima disposición a pagar por el cambio en el bien; ii) formulación de preguntas iterativas acerca de la DAP en que el valor de estas depende de la respuesta anterior: el valor puede ser más alto o más bajo en la siguiente pregunta. Este formato se conoce como *bidding game* y simula un remate donde el entrevistador busca en un listado de valores, aquél que cada individuo le asigna al bien; iii) preguntas dicotómicas o de referendo. Esta consiste en una única pregunta, a la cual el entrevistado sólo puede responder si está o no dispuesto a pagar un determinado valor. Este último es determinado en forma aleatoria para cada entrevista, lo que le crea algunas complicaciones al investigador en su tarea de estimar las medidas de bienestar. Otro punto sensible en esta modalidad es la determinación del rango en que se encontraran estos valores.

a. Definición de grupos focales

El desarrollo de una sesión grupal con un grupo de individuos representativos de la población por encuestar para validar el instrumento es el primer paso para la aplicación del método de Valoración Contingente. Con él se persiguen los siguientes objetivos:

- Explicar el resultado final del cambio que se desarrollarán con el proyecto.
- Familiarizarse con el vocabulario que utilizan los afectados para poder consultar sobre sus actividades, decisiones, procesos, etc., en los mismos términos.
- Explorar cuál es la medida para cuantificar los daños o beneficios producidos por los proyectos
- Explorar los vehículos de pago posibles de implementar.
- Determinar el rango de la DAP (alternativamente esto puede obtenerse en las preencuestas)

b. Formulación de pre-encuestas

Se debe realizar una pre-encuesta con el objetivo de conocer los rangos de la disposición a pagar (DAP) por los atributos ambientales de los recursos hídricos relacionados al estudio. Se recomienda realizar esta pre-encuesta en un universo de entre 10 y 20 personas. Para la aplicación de la pre-encuesta se recomienda una distribución geográfica homogénea y por tamaño de predio.

En cuanto al diseño de la pre-encuesta se plantea dividir los temas por preguntar considerando los siguientes campos:

- Introducción de la encuesta, explicando el propósito y quien la realiza.
- Situación con relación al problema de las crecidas de ríos, su percepción de los escenarios planteados y los problemas asociados a la actividad agrícola, comercial y habitacional de estos eventos.
- Escenario hipotético para levantar valores empíricos de disposición a pagar.
- Características personales del encuestado como edad, educación e ingreso.

c. Diseño de la muestra y aplicación encuesta final

Para el diseño de la muestra se recomienda dividir la zona geográfica para tener de esta manera subconjuntos que posean similares características.

d. Aplicación encuesta final

Se recomienda realizar el total de las encuestas en 1 ó 2 semanas consecutivas. También se recomienda que el grupo encuestador se aloje cerca de la zona por encuestar para evitar los tiempos de viaje y comenzar a encuestar a primera hora de cada día, para así poder localizar a los agricultores en los predios o a las personas en sus casas en lugares urbanos.

En cuanto a la distribución, se recomienda dividir el grupo encuestador en equipos, contando cada uno con un supervisor y un guía de la zona. Los guías son de gran ayuda, ya que entregan orientación en la búsqueda de los distintos predios en la zona.

La principal dificultad en el trabajo de terreno viene dada por el hecho que las fuentes de información no estén actualizadas y, por lo tanto, se recomienda encuestar a los informantes más relevantes y que tengan cabal conocimiento del tema abordado y que por supuesto, estén dispuestos a responder la encuesta.

e. Análisis de datos

Los datos recogidos en la encuesta deben ser analizados y procesados para obtener el producto esperado: la DAP por el proyecto. Se pueden distinguir dos etapas principales:

i. Análisis Estadístico

Se debe realizar un análisis estadístico de los datos recogidos por la encuesta apara cada una de las variables, con el objeto de eliminar los datos inconsistentes o fuera de rango aceptable así como las encuestas que no contienen información sobre el escenario hipotético, con lo cual finalmente se dispone de una base de datos consistente y validada.

ii. Análisis Econométrico

El procesamiento econométrico de los datos válidos es el paso definitivo y último para obtener la DAP por el proyecto. Primeramente se debe obtener el modelo econométrico que mejor se ajusta a los datos y luego se deben obtener las ecuaciones econométricas que definen la DAP a partir de las variables estadísticamente significativas.

6 – Sistema Tómelo o Déjelo

Una forma particular de plantear la metodología de Valoración Contingente es la aproximación "Tómelo o Déjelo" (Bishop y Heberlein, 1979, 1980), en la cual se cuenta con una serie de precios predeterminados (tj) que se distribuyen aleatoriamente en distintas encuestas y se pregunta a cada persona encuestada si lo pagaría o no, obteniéndose únicamente una respuesta binaria de SÍ o NO frente a un determinado precio.

Pregunta: ¿Pagaría usted $ tj por que se realice el proyecto X?

Respuesta a: SÍ

Respuesta b: NO

Esta forma sencilla de presentar la pregunta sobre la disposición a pagar facilita el trabajo del encuestador, pues la pregunta es muy simple de formular, y también del encuestado, quien debe emitir un juicio sobre un único precio y decidir si lo toma o lo deja. La principal debilidad que presenta este tipo de obtención de la DAP es que se obtiene sólo un valor discreto por observación, y no el valor máximo, pues una respuesta diciendo que sí pagaría el monto sugerido opera como un mayor o igual, es decir, pagaría dicho monto pero quizás también pagaría un monto mayor. Además, se requiere de muchas encuestas para lograr un buen nivel de precisión estadística (Carson y Mitchell, 1989).

IV. Beneficios medidos a través de la aplicación del Método de Valoración Contingente

Los beneficios incluidos en la DAP se enmarcan en los derivados de la disminución esperada de los costos infringidos al medio-ambiente. Las DAP son calculadas y expuestas en forma aleatoria a cada individuo encuestado, logrando determinar su aprobación o no con el monto X solicitado. Luego de ello se utiliza un valor de seguimiento Y, el cual es operacionalizado con X dependiendo de la respuesta inicial del encuestado: si la respuesta inicial es positiva se utiliza X+Y; si la respuesta inicial es negativa se utiliza X-Y.

Se obtendrán valores promedios de DAP, que pueden ser filtrados por grupos con características similares. También es posible determinar qué aspectos o variables determinan la disposición a pagar que tiene un individuo por contar con el servicio de defensas fluviales.

Dado que se estimará una función de una DAP en función de variables, es posible estimar DAP diferenciadas con características similares. En este sentido, se podrían estimar "poblaciones tipo" asociadas a una DAP promedio y eso multiplicado por el número de afectados podría entregar una versión simplificada del modelo de valoración contingente.

La metodología de Valoración Contingente es aplicable preferentemente en aquellos casos donde no existe un mercado funcionando que entregue demandas y precios útiles para valorar los beneficios del proyecto.

7 – METODOLOGÍA DE ESTIMACIÓN DE BENEFICIOS POR TURISMO Y DESARROLLO INMOBILIARIO

El aumento de la actividad turística y el desarrollo de proyectos inmbiliarios son en general, efectos derivados de un embalse, dado que es poco probable que sean los únicos objetivos persiguidos.

I. Beneficios por turismo

El turismo se define como el conjunto de atractivos, infraestructura y servicios disponibles y/o por construir que proveen servcicios de recreación y entretenimiento. A los fines de incorporar los beneficios por turismo, deberían considerarse los siguientes factores:

- Disponibilidad de otros recursos naturales complementarios.
- Disponibilidad de una "cultura" o valoración social del turismo como atractivo para satisfacer de necesidades de recreación.
- Potencialidad de desarrollo de servicios turísticos (hoteles, hospedajes rurales, restaurantes, centros recreativos).
- Disponibilidad de infraestructura de accesibilidad a la zona: viabilidad, conectividad.
- Disponibilidad de infraestructura de servicios básicos: telecomunicaciones, electrificación y energía, agua potable, alcantarillado, evacuación de aguas lluvias, otras.
- Disponibilidad de infraestructura de servicios complementarios: salud, seguridad, otros.

El diagnóstico del proyecto turístico debe considerar los siguientes aspectos:

- ***Recursos turísticos naturales y culturales***: identificar en la zona de influencia aspectos con características que favorecen el turismo y recreación.
- ***Infraestructura y servicios turísticos***: analizar la oferta actual y potencial de servicios que aseguren la viabilidad del proyecto, tales como: disponibilidad de los servicios de transporte (carreteras u otros métodos o medios de acceso), servicios básicos (agua potable, electricidad, etc.), servicios de alojamiento (hoteles, apartamentos turísticos, etc.), servicios gastronómicos (restaurantes, etc.), servicios de entretenimiento y ocio (casinos, cines, instalaciones deportivas, etc.) y, otros servicios asociados a la actividad (servicio de guía, alquiler de coches, entre ellos).

El resultado del diagnóstico es la detección de los problemas y/o dificultades para el desarrollo del turismo en la zona.

La definición de la situación SP debe considerar todas las medias de optimización en la situación actual, a través de la implementación de diferentes medidas de gestión o proyectos de menor cobertura que permitan obtener parcial o totalmente los

beneficios potenciales del proyecto. Si el turismo se desarrolla debido a la ejecución del proyecto, es necesario evaluar si existe la posibilidad de que este lugar se pueda ubicar en el circuito turístico ya establecido o bien desarrollar las inversiones necesarias para hacer accesibles los proyectos turísticos potenciales.

La demanda turística involucra a todos los servicios que realmente son necesarios para el turista. Su identificación debe tener en cuenta aspectos como:

*) ***Catastro de visitas históricas de turistas***: número de visitantes, medios de transporte, razón de la visita, frecuencia, duración de la estadía en el lugar, tipo de alojamiento utilizado, forma de pago, tarifas, etc.

*) ***Catastro de visitas potenciales de turistas***: número de visitantes, medios de transporte, intereses de la visita, frecuencia y duración de la estadía esperada, tipo de alojamiento preferido, forma de pago, tarifas de disposición a pagar, otros.

*) Número de turistas de visita en la zona. Un supuesto conservador es considerar que el actual número de turistas sigue creciendo al mismo ritmo que lo venía haciendo en los últimos períodos.

*) El turismo potencial generado por el proyecto.

*) Estacionalidad turística.

*) Razones para viajar y atractivos adicionales para visitar la zona.

*) Evolución de la demanda futura. Para determinar el crecimiento del turismo se puede apelar a la historia de proyectos similares (comparables).

*) Clasificación de los turistas por origen: ***internacionales o extranjeros y nacionales***.

Privadamente, el embalse puede apropiarse de parte de los excedentes del productor turístico cobrando un canon o arriendo por el uso y operación de la superficie del embalse (es decir, en principio no debería implicar el uso consuntivo del agua). De tal forma, el valor económico generado por el turismo está dado por:

$$VET = \sum_{i=1}^{n} \frac{\Delta P_i * K_i}{(1+r)^i} - \sum_{i=1}^{n} \frac{\Delta IOMK_i}{(1+r)^i}$$

Donde:

VET es el valor económico generado por el turismo;

$\boldsymbol{\Delta P_i * K_i}$ es el beneficio por recaudación de canon turístico;

$\boldsymbol{\Delta IOMK_i}$ es el costo por insumos, operación y mantenimiento de la estructura para mantener constante la recaudación del canon turístico;

Alternativamente, los beneficios turísticos pueden medirse a través de los ***ahorros de costos de viaje***. El método del costo de viaje implica dos etapas: i) estimar la demanda individual del visitante por el recurso y ii) derivar estadísticamente la curva de demanda agregada relevante (en una aproximación más básica, círculos concéntricos de diferente radio son dibujados alrededor del sitio en particular). Una muestra de visitantes debe ser contactada y encuestada sobre todo sobre el número de visitas, distancia de viaje y sus gastos actuales de visita. El procedimiento de recolección de datos debe ser diseñado para responder preguntas relacionadas con distancias de viajes, gastos dependiendo de la distancia de viajes, etc. El excedente del consumidor puede ser calculado como el área bajo la curva de demanda y sobre la curva de costos de viaje de los residentes de una zona específica65.

[65] Young (1996) plantea la siguiente interrogante: ¿Que se debe tomar en cuenta para estimar el costo de viaje?, ya que el costo puede estar influenciado por el precio del automóvil, el gasto en alimentación durante el viaje, etc. También se debe tomar en cuenta el costo de oportunidad del tiempo de viaje. Muchas veces este costo es

La principal atracción del método del costo de viaje es que como una aproximación a las preferencias reveladas, refleja el comportamiento de selección del consumidor. Uno de los principales problemas con este método es que no es posible separar características específicas de un recurso del otro, ya que los visitantes no concurren a un determinado sitio exclusivamente por los atributos turísticos del proyecto hidráulico.

II. Beneficios por desarrollo inmobiliario

Como consecuencia de la existencia de un embalse puede desarrollarse un mercado de bienes raíces en los alrededores, aprovechando los valores recreativos del espejo de agua. Como en el caso de los beneficios por riego estimados a partir del método de precios hedónicos, el mercado de la tierra permite aproximar los beneficios del embalse por desarrollo del mercado inmobiliarios. En este caso, los beneficios netos estarán dados por el aumento neto de la plusvalía del suelo; es decir, menos los costos de urbanización y equipamiento necesarios para poner en valor los paños de suelo.

De esta manera, el valor económico del embalse por desarrollo inmobiliario será:

$$VEDI = \sum_{i=1}^{n} \frac{\Delta PS \quad * Ha_i}{(1+r)^i} - \sum_{i=1}^{n} \frac{URB_i}{(1+r)^i} - \sum_{i=1}^{n} \frac{EURB_i}{(1+r)^i}$$

Donde:

VEDI es el valor económico por desarrollo inmobiliario;

$\boldsymbol{\Delta PS*Ha_i}$ es el beneficio por aumento de la plusvalía de las hectáreas;

$\boldsymbol{URB_i}$ son los costos de urbanización para poner en valor el suelo;

$\boldsymbol{EURB_i}$ son los costos de equipamiento por urbanización para poner en valor el suelo.

Dado que en general los desarrollos inmobiliarios se realizan por etapas (y no en un único período de tiempo – año), debe suponerse que los aumentos del precio del suelo, como las inversiones en infraestructura y equipamiento, se dan en diferentes años, razón por la cual los flujos deben ser descontados a la tasa de descuento pertinente.

asociado al salario, pero algunos autores señalan que debe ser menor ya que el trabajo es un desbien. Un problema adicional es el caso de los sitios de viaje sustitutos, ya que si son relevantes y no se incluyen, los resultados del análisis tendrán un error considerable.

8 – MÉTODOS ALTERNATIVOS PARA LA ESTIMACIÓN DE BENEFICIOS DE PROYECTOS DE EMBALSES Y OBRAS HIDRÁULICAS ANEXAS: DESALACIÓN Y TRASVASIJES DE RECURSOS

En los capítulos anteriores se han presentado un conjunto de desarrollos metodológicos que permiten la medición de los benefios asociados a diferentes actividades económicas que aprovecharían los recursos hídricos adicionales generados por el embalse y obras complementarias: riego, hidrogeneración eléctrica, agua potable, minería, turismo y defensas fluviales. No obstante, los beneficios de una obra hidráulica también pueden medirse como el *costo en que debería incurrirse, pública o privadamente, para obtener el agua mediante la alternativa disponible de menor costo;* es decir, se estima el ***valor de oportunidad del agua***.

La elección del método a utilizar para valorar el agua estará determinada por varios factores, entre ellos, las características del uso del agua a valorar y especialmente, disponibilidad de información. Los métodos presentados en capítulos anteriores para la estimación del *valor del agua embalsada* requieren datos que eventualmente pueden ser de escasa disponibilidad o requerir de sofisticada modelación económica. Por ello, se recomienda realizar la valoración aplicando el mayor número de métodos posible, ya que de esta forma los resultados se pueden contrastar, ofreciendo al tomador de decisiones un set más completo de antecedentes relacionados con la evaluación socio-económica del proyecto.

Los métodos del costo alternativo son utilizados frecuentemente para la valoración del agua cuando por falta de datos apropiados u otros motivos, no es posible obtener una función de demanda del agua de manera directa por otros de los métodos presentados en los capítulos anteriores. Su supuesto básico (válido solamente en limitadas circunstancias) es que que dado un proyecto con un costo de producción más bajo que el siguiente mejor proyecto público o privado del mismo nivel de producción, entonces el costo del siguiente mejor proyecto puede ser asignado como el beneficio del proyecto bajo consideración.

Por ejemplo, los beneficios de un proyecto de embalse y obras hidráulicas anexas puede estimarse como el menor costo de la alternativa que satisface el déficit de cuenca, entre, por ejemplo, una planta desaladora o un proyecto de trasvasije de aguas. Al considerar estas alternativas, implícitamente se está estimando el ***precio sombra al agua***, a partir del proyecto que satisface parcial o totalmente el déficit de la cuenca (alternativa al embalse).

Desarrollar el concepto del costo alternativo no es dificultoso en teoría, pero el análisis de los detalles empíricos requiere tiempo y esfuerzo. El valor presente de los costos de cada alternativa se calcula en la base de períodos de tiempo medibles, nivel de precios, tasa de descuento y otras similares.

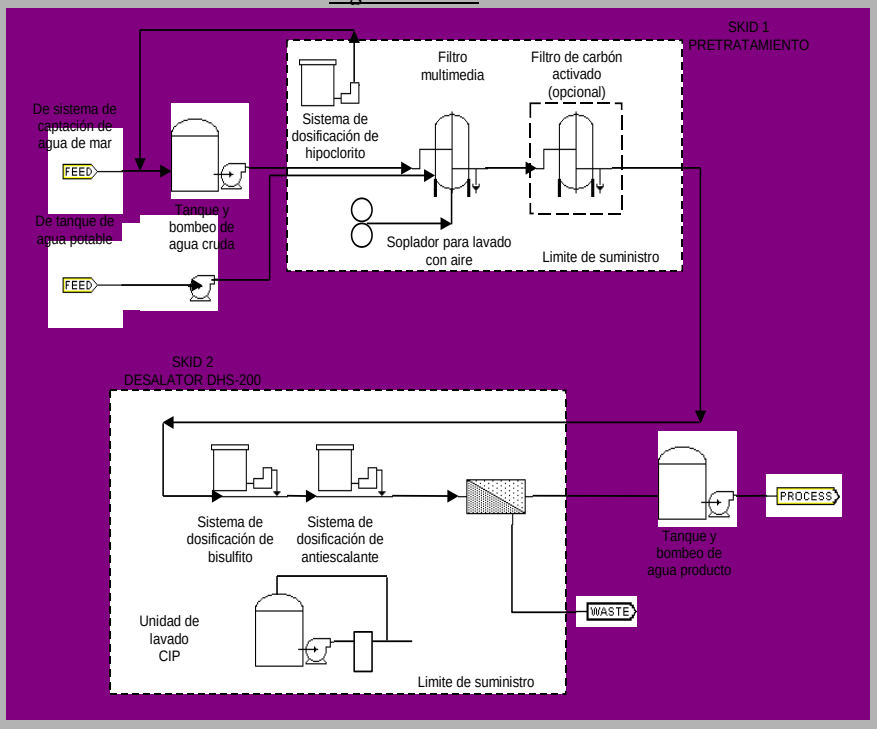
I. Desalación de agua de mar

La desalinización o desalación es el proceso por el cual el agua de mar, que contiene 35.000 partes por millón (ppm), y las aguas salobres, que contienen de 5.000 a 10.000 ppm, se convierten en agua apta para el consumo productivo, humano e industrial[66][67].

Chile dispone de una planta de desalación ubicada en la Región de Antofagasta y que utiliza tecnología de ósmosis inversa para la obtención de "agua dulce" a través de un procedimiento que utiliza energía eléctrica.

Mediante la incorporación del agua salobre procedente del mar y de otros factores productivos, el proceso de desalación por ósmosis inversa da lugar a la obtención de un producto principal (agua desalada), un subproducto (electricidad) y un desperdicio (salmuera). La Figura N°8.A presenta un proceso de desalinización de agua de mar.

Figura N°8.A



Si bien desde un punto de vista tecnológico existen múltiples procedimientos que permiten desalar el agua del mar, industrialmente sólo se han generalizado los siguientes, además de la mencionada ósmosis inversa:

*) Electrodiálisis: utiliza energía eléctrica para forzar las sales disueltas por membranas. Alto consumo de energía eléctrica.

[66] La salinidad puede variar en los diferentes océanos, pero las proporciones relativas de los principales constituyentes (NaCl, MgCl2, MgSO4, CaSO4, K2SO4, NaCO2, LiBr) son prácticamente las mismas en todos ellos.

[67] Existen diferencias entre el agua dulce y el agua potable. Los estándares para el agua dulce pueden variar en cada país; sin embargo, el estándar que asumimos en Cuba es el empleado por la Organización Mundial de la Salud (OMS), el cual identifica como agua dulce una solución acuosa que contiene menos de 500 ppm del total de sólidos disueltos (TSD). La definición de agua potable sería básicamente la misma, pero agregándole las siguientes condiciones: inodora, incolora, insípida y finalmente libre de bacterias contaminantes.

*) Destilación multi-etapas: cámaras de baja presión para ayudar a la vaporización. Aplicable a proyectos de mediana y gran escala.

*) Evaporación de múltiples etapas: similar al anterior; a mayor cantidad de etapas, mayor eficiencia.

*) Solar stills destilation: utiliza energía solar para calentar el agua. Captura el vapor de agua condensado.

Asimismo, a nivel mundial se dispone de las tecnologías de destilación súbita , intercambio iónico y desalinización nuclear (en general para la producción integrada de agua potable y energía eléctrica a partir de agua de mar en una instalación en la que un reactor nuclear se utiliza como fuente de energía – eléctrica y/o térmica – para el proceso de desalinización). No obstante, en Chile no se aplican prncipalmente por los altos costos de inversión y operación asociados a cada una de ellas.

i. Proceso de desalinización

El proceso de desalación implica el siguiente flujo de actividades:

- Captación de agua: se realiza mediante pozos o tuberías instaladas en el lecho marino.
- Preparación del agua: corrección del pH para las necesidades del tratamiento.
- Filtración: el agua se hace pasar por una tubería de filtros que retienen la mayor parte de las partículas en suspensión. Con ello, se garantiza que no lleguen partículas a las membranas.
- Bombeo: el agua es impulsada a los bastidores de membranas mediante bombas de alta presión para invertir el proceso de osmosis natural, la que se produce a través de una membrana de polímeros. Así, el agua pasa a un lado de ella y la salmuera (agua de mar altamente concentrada en sales de) sale por otro.
- Conducción de la salmuera: ésta sale de los bastidores y se reutiliza su energía en las turbinas de recuperación. Luego, se envía al depósito de rechazo y más tarde será devuelta al mar mediante sistemas de difusión que la diluyen en el mar.

ii. Estimación de costos de desalación

El coste de explotación del agua desalada debe incorporar todos los costes, entendidos como los factores incorporados al proceso de producción. Los costos medioambientales corresponden a las actividades de prevención, reparación y minimización de daños al medio natural y asignables al proyecto de desalación. Deben incluirse también el valor de las multas, sanciones e indemnizaciones derivadas de la actividad y las previsiones de desembolsos por causas medioambientales asignables al centro (actividades propias de la desalación en un ejercicio determinado, pero cuyo desembolso tendrá lugar en un momento futuro no determinado) y las previsiones contingentes asignables a la planta. Así también, deberán incorporarse las externalidades, tales como emisiones de gases, fugas de combustibles, ruidos, olores, vertidos de salmuera al medio receptor, entre otros, que surgen de la realización de las actividades propias de la desalación.

Determinado el coste de desalación, corresponde asignarlos a los distintos productos obtenidos: agua desalada, agua destilada y electricidad. Dado que se trata de un proceso conjunto, para la asignación de costos por producto debe aplicarse el método de sustracción.

El costo de desalación se puede plantear de la siguiente manera:

$$KDES = ADTV*kdt + EL*kel + ADES*Kdes$$

$$KDES = KDES\ m + KDES\ nm$$

Donde:

KDES es el costo total de desalación;

KDESm es el costo medioambiental de desalación.

KDESnm es el costo no medioambiental de desalación;

ADTV son los metros cúbicos de agua destilada vendida;

Kdt es el costo unitario del agua destilada vendida;

EL son los kilovatios/hora de electricidad obtenida;

Kel es el costo unitario del kilovatio/hora de electricidad obtenida;

ADES son los metros cúbicos de agua desalada obtenida;

Kdes es el costo unitario del metro cúbico de agua desalada obtenida;

Dado que la electricidad es un subproducto que se vende a la compañía eléctrica, que tiene a su cargo el suministro de este servicio, no se origina en la desaladora un costo adicional para su suministro. Así, si se anula su rentabilidad, se obtiene el costo unitario del kilovatio/hora obtenida de electricidad:

$$EL\ pvel - KEL = 0$$

Donde:

KEL es EL kel

kel es pvel

Las magnitudes no denotadas hasta el momento indican:

Pvel el recio de venta unitario de la electricidad

KEL el costo total de explotación de la electricidad obtenida y vendida en su totalidad

Asimismo, y de forma análoga, anulando la rentabilidad del agua destilada vendida, subproducto que es vendido principalmente a empresas farmacéuticas, se obtiene:

$$ADTV\ pvdt - KDTV - OCDTv = 0$$

Donde:

Pvdt es el precio de venta unitario del agua destilada vendida;

KDTV es el costo total de explotación del agua destilada vendida;

OCDTv son otros costos generados en la empresa para el agua destilada vendida con posterioridad a la obtención de ésta en la fase de desalación.

Bajo la hipótesis que:

$$OCDTV = 0$$

y dado que:

$$KDTV = ADTV\ k\ dt$$

Se obtiene:

$$kdt = pvdt$$

Sustituyendo:

$$KDES = ADTV\ pvdt + EL\ pvel + ADES\ kdes$$

Por lo cual el costo del producto principal (agua desalada: Kds) estará dado por:

$$Kds = ADES\ kdes = KDES - ADTV\ pvdt - EL\ pvel$$

Si bien no es habitual que se generen costos con posterioridad a la obtención de la electricidad, se entiende que, de no ser así, el precio de venta debe cubrir la totalidad de costos asociados al subproducto, tanto para su obtención como para su comercialización.

Según estudios realizados para determinar el costo del agua desalada en España, la desalación es una alternativa viable y competitiva en determinadas condiciones. Al respecto, se ha estimado el costo del agua desalada en 0,40-0,60 €/m3 ($265-$400/m3)[68]. La experiencia chilena en tanto, muestra un costo estimado de US$ 1,5 /m3 ($715/m3), según datos asociados a la producción de la Planta Coloso en el norte del país.

iii. Evaluación socio-económica de proyectos de desalación

La incorporación de una planta de desalinización de agua deberá ser incorporada como alternativa de solución al déficit de agua potable para abastecer a las poblaciones pertenecientes a la cuenca en estudio. La alternativa de abastecer el déficit de agua mediante la planta desaladora se evaluará considerando los siguientes criterios:

- El proyecto debe evaluarse en términos de las ventajas que presenta la desalinización respecto de otras alternativas, tales como la construcción de embalses o proyectos de trasvasije de aguas.
- La entrada en operaciones de la planta se define como el año en que se produce déficit de agua en los meses secos de la cuenca.
- El tamaño de la planta quedará determinado por el caudal deficitario, medido en l/s. Tanto las inversiones como el costo operacional de la planta son una referencia para el proyecto de instalar una planta desaladora.

En general, por los actualmente altos costos de desalación, es una alternativa para la producción de agua potable o agua para la minería. Por otra parte, su impacto en el medio ambiente estará condicionado a la introducción de las fuentes renovables de energía en el proceso de desalinización,por lo que deben incorporar las correspondientes medidas para reducir, eliminar o compensar los efectos ambientales negativos generados por el proyecto.

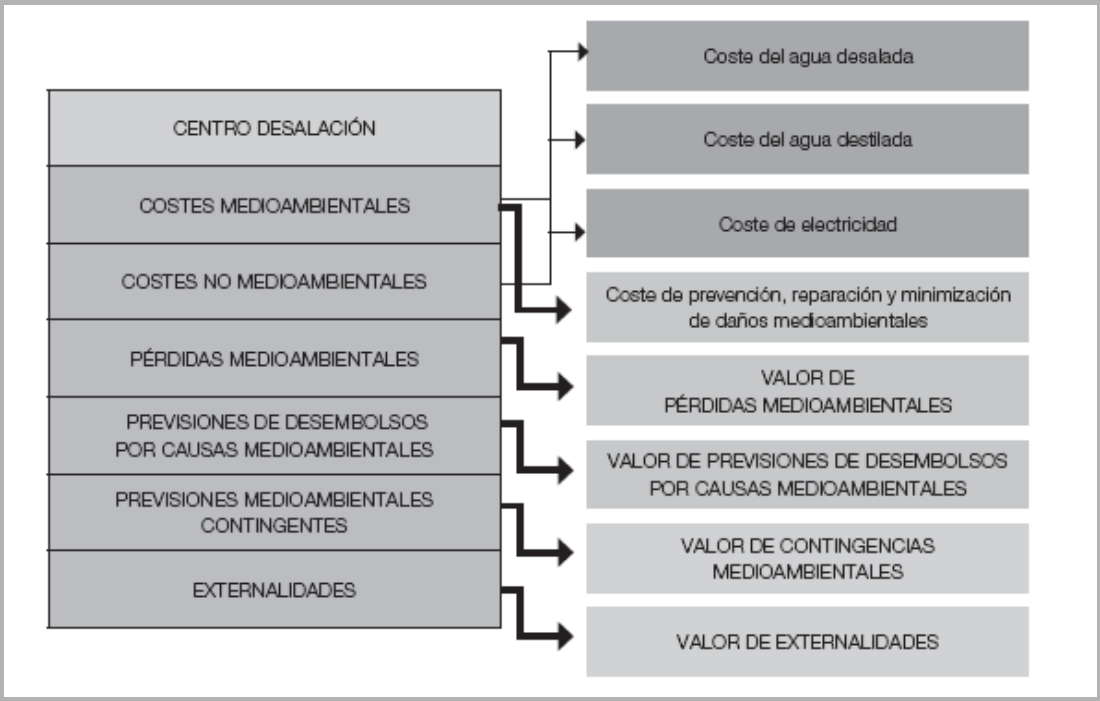
Si bien las plantas desaladoras son una alternativa sumamente válida para aumentar los recursos hídricos en una cuenca, actualmente son opciones de alto costo, por lo cual sólo son rentables para su uso en la producción de agua potable o en la minería.

[68] Universidad de Alicante, 2005.

La Figura N°8.B presenta el esquema de análisis de costos sociales asociados al proyecto de instalación de una planta desalinizadora de agua.

Figura N°8.B

Esquema de análisis de costos sociales en proyectos de desalación



Fuente: Elaboración propia en base a antecedentes varios.

II. Trasvasije de recursos hídricos entre cuencas

Una alternativa para la estimación del beneficio de un proyecto hidráulico es la determinación de los ahorros de costos por evitar la construcción de un proyecto de trasvasije de aguas entre una cuenca superavitaria y una deficitaria. El costo de trasvasije de aguas de una cuenca a otra es función de la distancia del transporte efectuado, ya que se requiere bastante energía para el bombeo.

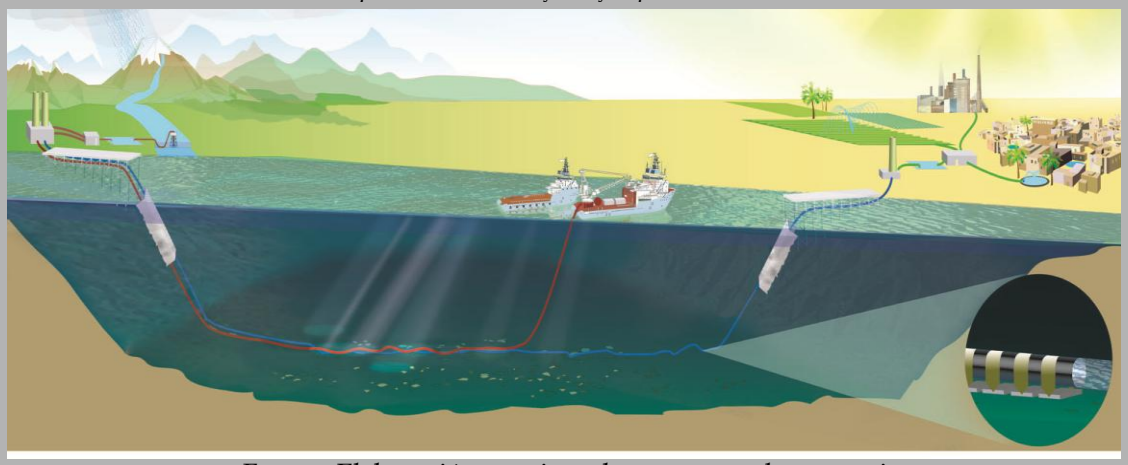
Los trasvasijes tienen efectos tanto medio-ambientales como sociales y económicos. Entre los primeros: i) requerimiento de la construcción de grandes obras hidráulicas para embalsar y/o transportar los recursos, tanto en la cuenca donante como en la cuenca receptora; ii) importantes impactos ambientales derivados de las obras de conducción que cruzan el territorio; iii) implicaciones ecológicas derivadas de la mezcla de aguas entre la cuenca donante y la receptora; iv) necesidad de evaluar integralmente el proyecto desde el punto de vista medio-ambiental y v) obligatoriedad de garantizar un caudal ecológico en la cuenca donante. Entre los efectos sociales y económicos se destacan: i) generación de situaciones de desequilibrio del desarrollo regional por el crecimiento de algunas áreas en

detrimento de otras; ii) altos costos para satisfacer el déficit de la cuenca receptora; iii) el simple anuncio de la posible realización de un trasvase traería como consecuencia un aumento de la demanda y de los costos de expropiaciones; iv) disponer de la correspondiente recomendación, a partir de un riguroso estudio de viabilidad técnica y económica; v) al trasladarse recursos hídricos de una cuenca a otra, puede limitarse el desarrollo futuro de la cuenca donante, si es que tales recursos pueden potencialmente requerirse en la cuenca proveedora.

En Europa, las soluciones menos costosas utilizan captación de agua en la desembocadura de la cuenca donante y realizan su transporte a través del mar mediante un método de bombeo apropiado y en general para su uso como agua potable. La experiencia muestra que el trasvasije de aguas entre una cuenca y otra, es competitiva con las plantas de desalación en distancias inferiores a 200 kms. La Figura N°8.C presenta un ejemplo de las soluciones de trasvasije entre cuencas (submariver).

Figura N°8.C

Esquema de trasvasije – ejemplo de Submariver



Fuente: Elaboración propia en base a antecedentes varios.

III. Consideraciones finales

En relación a iniciativas alternativas, tales como los proyectos de trasvasijes inter-cuencas (que se analizan a continuación), las desaladoras presentan ventajas como: i) Menores costos de terreno y movimiento de tierra; ii) menores costos potenciales por menor construcción de infraestructura; iii) potencial reducción de costos por la factibilidad de incorporar la utilización de energías renovables; iv) esperada reducción de costos por el desarrollo de nuevas tecnologías más eficientes que las actuales (energía nuclear por ejemplo). No obstante, también presentan desventajas tales como: i) importante impacto ambiental por la producción de salmueras como residuo del proceso (el vertido de salmueras al mar puede afectar a la biodiversidad marina a nivel local); ii) limitada vida útil de las instalaciones desaladoras; iii) requerimiento de instalación en lugares no urbanizados, lo que incrementa los costos de transporte del agua; iv) impacto de la calidad del agua sobre sectores sensibles a los minerales contenidos en el agua desalada (consumo humano, animal y agrícola).

Los proyectos de trasvasije tienen relativas ventajas en términos de vida útil de las obras (en general, mayores a 50 años), son de funcionamiento y operación

relativamente sencilla, no requieren el desarrollo de nueva tecnología ya que pueden alcanzarse soluciones eficientes con la actualmente disponible, la calidad del agua es aceptable y puede derivarse de los usos actuales en la cuenca donante sin requerir nuevos estudios de calidad y tienen un impacto eventualmente menor en términos medio-ambientales. No obstante, son dependientes de la hidrología de la cuenca donante, lo cual incorpora relativa incertidumbre a los flujos hidráulicos disponibles en la situación CP y requieren una diferencia altimétrica relativamente considerable (en promedio 500 metros) entre ambas cuencas, entre otras características.

Aún a pesar de las soluciones alternativas para la estimación del valor de los recursos hídricos presentados en este capítulo, la recomendación principal tiene relación con el perfeccionamiento de los mercados del agua, especialmente en las situaciones en que exista un déficit proyectado en una cuenca.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

2009. Arcia, Córcega, Godoy y Jiménez. Muestreo aleatorio.

1988. Banco Mundial. Evaluation Results for 1998. Issues in World Bank Lending Over Two Decades. Washington, DC.

Banco Mundial. Libro de Consulta para Evaluación Ambiental (Volumen I; II y III). Trabajos Técnicos del Departamento de Medio Ambiente.

2004. Botteon, C. metodología de de evaluación de proyectos de recursos hídricos.

2004. CEPAL. Donoso, Guillermo et al. Mercados de agua: experiencias y propuestas en América del sur. Serie recursos naturales e infraestructura.

2004. CEPAL. Lee, T. y Juravlev, A. los precios, la propiedad y los mercados en la asignación del agua. Serie medioambiente y desarrollo.

1998. CEPAL, "Los precios, la propiedad y los mercados en la asignación del agua", Serie Medio Ambiente y Desarrollo N°6, Octubre de 1998

1992. Cohen, E. y Franco, R.: Evaluación de proyectos sociales. México: Siglo Veiuntiuno.

1992. Coloma, F: "Evaluación Social de Proyectos", Banco Mundial, Bolivia, marzo-abril.

2009. Contreras, E. Aplicación de métodos alternativos para valorar recursos naturales (sin mercado) e impactos ambientales.

2006. Cordero, S., et al. Análisis de costo beneficio de cuatro proyectos hidroeléctricos en la cuenca Changuinola – Teribe.

2000. Curso Interamericano en Preparación y Evaluación de Proyectos. Gestión de Aguas Lluvias: Aplicación en Pudahuel y Recoleta. Instituto de Economía, PUC. Chile.

1992. Curso Interamericano en Preparación y Evaluación de Proyectos. Proyectos de Evacuación de Aguas Lluvias y Defensas Fluviales: Metodologías y Aplicación en Colina. Instituto de Economía, PUC. Chile.

1994. Diamond, Peter A. y Jerry A. Hausman, "Contingent Valuation: Is Some Number Better than No Number?", Journal of Economic Perspectives.

2002. Dirección de Obras Hidráulicas del Ministerio de Obras Públicas. Metodología de Evaluación de Proyectos de Aguas Lluvias.

1978. Engenharia de Recursos Hídricos. Ray K.Linsley & Joseph B. Franzini. Editora da Universidade de Sao Paulo e Editora McGraw-Hill do Brasil, Ltda.

2001. Fontaine, Ernesto. Evaluación Social de Proyectos. Pontificia Universidad Católica de Chile, Instituto de Economía.

2003. Fuenzalida, V. Asignación eficiente de recursos naturales: el caso de las aguas terrestres. Pharos, nov.-dic., año/Vol. 010, número 002, santiago, chile.

2002. Hadjigeorgalis, E. y Riquelme, C. Análisis de los precios de los derechos de aprovechamiento de aguas en el río Cachapoal.

2004. Hadjigeorgalis, E. Comerciando con incertidumbre: los mercados de agua en la agricultura chilena. Cuadernos de economía, Vol. 41 (abril).

1964. Handbook of Applied Hydrology. A Compendium of Water-resources Tecnology. Ven Te Chow, Ph.D., Editor in Chief. Editora McGraw-Hill Book Company. ISBN 07-010774-2.

Handbook of Applied Hydraulics. Library of Congress Catalog Card Number 67-25809.

1972. Harberger, A. "Evaluación de proyectos", MacMillan Press Ltd, Londres y Basingstoke, Inglaterra.

2007. Hernández-Sancho, F. y Mocholi, M. Modelo para la gestión óptima de la oferta de agua en un área territorial. Facultad de economía universita de Valencia.

1983. Hidráulica de los Canales Abiertos. Ven Te Chow. Editorial Diana, Mexico. ISBN 968-13-1327-5.

2006. Interamerican Development Bank. Manual de evaluación económica de proyectos de transporte.

1999. Jiménez, J. y Asad, M. Manejo de los recursos hídricos en la argentina: aspectos económicos y financieros. Informe final.

2007; Lechuga, J.; Rodríguez, M.; y Lloveras, J. Análisis de los procesos para desalinización de agua de mar aplicando la inteligencia competitiva y tecnológica.

1997.Ledesma, Z. y Sánchez R.: Análisis económico-social de un proyecto de inversión hidráulico: El caso "Palmarito". Tesis de Maestría en Desarrollo Económico, CDICT-UCLV.

2007. Martínez, y. y Goetz, R. Ganancias de eficiencia versus costes de transacción de los mercados de agua. Revista de Economía Aplicada AE, número 43 (Vol. XV).

1991. Martínez A. y Schlupmann, K. La ecología y la economía. Fondo de cultura económica, México.

1994. McFadden, D.: "Contingent Valuation and Social Choice." American Journal of Agricultural. Economics, Vol. 76, pp. 689-708.

2010. MIDEPLAN NIP., Sistema Nacional de Inversiones (SNI), "Metodología de Riego".

1992. MIDEPLAN. Inversión Pública: Eficiencia y Equidad. Departamento de Inversiones.

2006. Ministerio de Vivienda y Urbanismo. Técnicas Alternativas para Soluciones de Aguas Lluvias en Sectores Urbanos.

2000. Ministry of Agricultural, Fischeries and Food. Flood and Coastal Defence Project Appraisal Guidance: Approaches to Risk. Reino Unido.

2008. Monsalve, Germán. Hidrología en la ingeniería. Editorial Alfaomega.

1999. Pasqual, J.: La evaluación de políticas y proyectos. Criterios de valoración económicos y sociales. Icaria editorial, Universidad Autónoma de Barcelona, España.

1996. Perelló, J Economía ambiental. u. de alicante, España.

2007. Pérez y Pérez, L. y Barreiro, J. Una nota sobre la recuperación de costes de los servicios del agua en la cuenca del gallego. Economía agraria y recursos naturales. issn: 1578-0732. Vol. 7, 13. pp. 49-56.

2006. Pérez, J. y Piedra, F. Localización y afectación de costes medioambientales y no medioambientales en las empresas de aguas: el coste del agua desalada.

2007. Preafán, C. Metodología para la recuperación de costes financieros en el servicio de regadío (el caso de canarias). Pamplona, 15-17 mayo.

2008. Pontificia Universidad Católica de Chile, Fundación Economía y Administración UC. "Informe Etapa 4: Análisis de técnicas de evaluación de proyectos de protección de riberas de cauces naturales".

2009. Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal, Fundación Agro UC, Departamento de Economía Agraria. Informe final: valor de la tierra agrícola y sus factores determinantes santiago, junio del 2009.

2002. Riesgo Laura, Gómez-Limón José, "Políticas de tarificación y de ahorro de agua en el regadíao. Análisis de su aplicación conjunta", Universidad de Valladollid, Palencia.

1998. Sánchez, R.: Metodología para evaluación socioeconómica del vial de enlace Aeropuerto- Km 0 Pedraplén, Informe de investigación terminado, CDICT-UCLV.

1995. Sapag, N. y Sapag, R.: "Preparación y Evaluación de Proyectos". 3ra Edición. McGraw Hill Interamericana S. A.

2002. Soluciones Integrales Consultores. Priorización de Proyectos de Drenajes y Control de Aguas Lluvias, Informe Final.

2001. Soluciones Integrales Consultores. Estudio de Valorización de Beneficios de Proyectos de Evacuación y Drenaje de Aguas lluvias, Informe Final.

1976. Taylor. "Evaluación geólogo - económica de yacimientos minerales"

1996. Vizzio, M.: "Recopilación de fundamentos de evaluación de inversiones". Folleto Edición Maestría en Formulación, Evaluación y Administración de Proyectos de Inversión. Córdoba, Argentina.

2007. Universidad de Chile, Departamento Ingeniería Industrial. Manual de cálculo del valor del agua de riego con el método de valoración contingente. Tomo ll: análisis de métodos alternativos para valorar los beneficios directos de los proyectos de riego.

2007. Universidad de Chile, Departamento Ingeniería Industrial. Informe final estudio análisis para el mejoramiento del proceso de evaluación de proyectos de riego. Tomo ll: análisis de métodos alternativos para valorar los beneficios directos de los proyectos de riego.

2007. Universidad de Chile, Departamento Ingeniería Industrial. Informe final estudio análisis para el mejoramiento del proceso de evaluación de proyectos de riego. Tomo i: análisis de la forma de aplicación del método del presupuesto y estandarización de su procedimiento de aplicación.

www.dams.org

www.oas.org

www.unesco.org