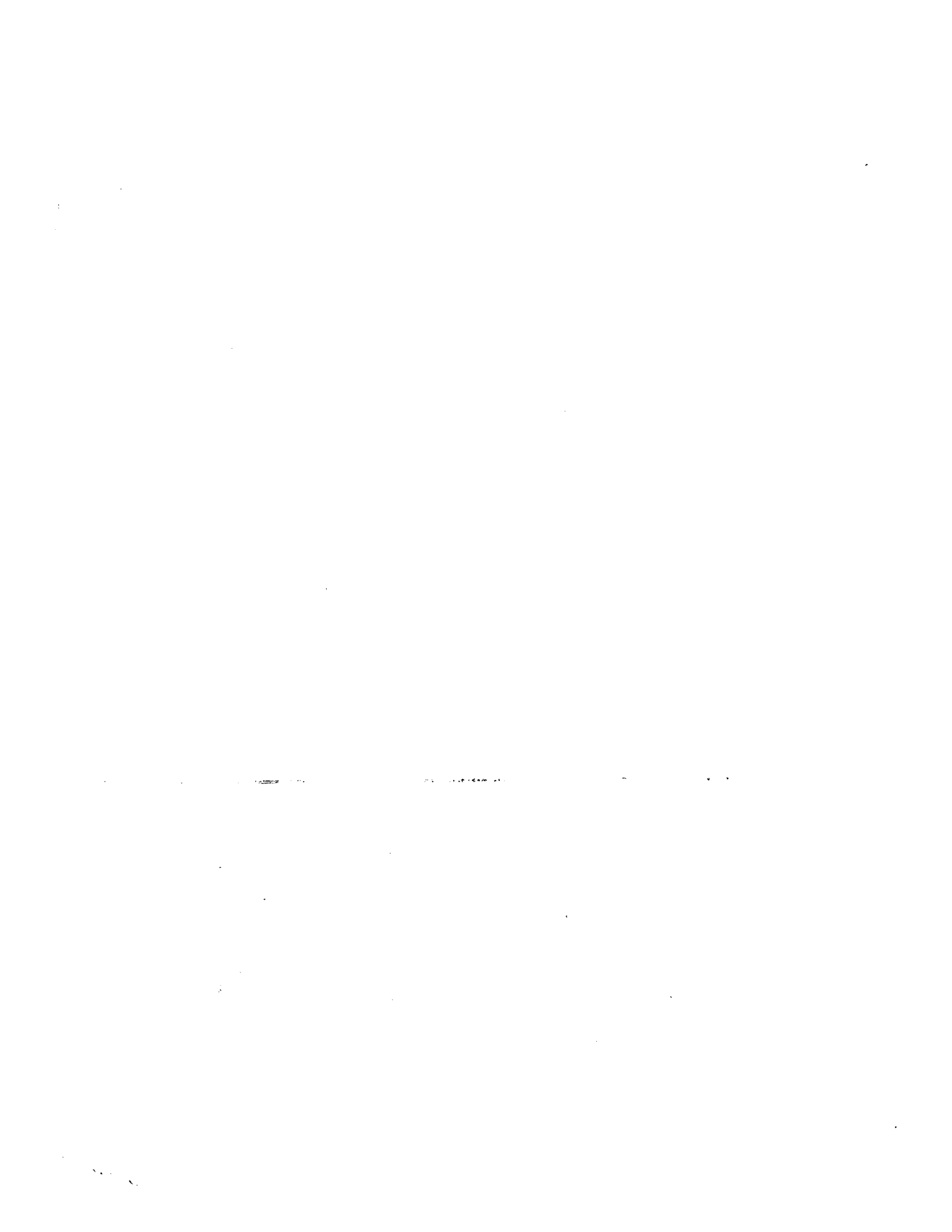




**CUADERNOS  
del Instituto  
Latinoamericano  
de Planificación  
Económica  
y Social**

**SERIE II / ANTICIPOS DE INVESTIGACION**



CUADERNOS DEL INSTITUTO LATINOAMERICANO  
DE PLANIFICACION ECONOMICA Y SOCIAL

---

Serie II - Núm. 10

Anticipos de Investigación

**Nathaniel Wollman**

**LOS RECURSOS HIDRAULICOS DE CHILE**

**Ensayo metodológico para el análisis económico  
de un recurso fundamental en el desarrollo de un país**

**Santiago de Chile**  
**1969**

  
900025304 - BIBLIOTECA CEPAL

Primera impresión: noviembre de 1969

Se prohíbe la reproducción sin previa autorización escrita del ILPES

Texto: Unidad de Composición y Cuadros CEPAL/ILPES

Gráficos: Unidad de Dibujo CEPAL/ILPES

Impresión: Unidad de Reproducción de Documentos CEPAL/ILPES

# Indice

	Páginas
Prefacio . . . . .	1
Reconocimiento . . . . .	3
Advertencia . . . . .	5
Chile: Regiones de recursos hidráulicos (mapa) . . . . .	6
Capítulo I: <u>Planteamiento del estudio</u> . . . . .	7
Algunas características geográficas, 9	
Capítulo II: <u>El modelo de proyección</u> . . . . .	13
Proyecciones demográficas y del producto nacional bruto, 21. Resumen de los resultados, 24. Cuestiones no tratadas, 28.	
Capítulo III: <u>Estimación de las necesidades de agua por sectores en 1985</u>	31
Agricultura, 31. Minería, 36. Energía eléctrica, 38. Sector manufacturero, 39. Sistemas municipales, 44. Tratamiento de aguas servidas y dilución de desechos, 45.	
Capítulo IV: <u>Necesidades totales de agua</u> . . . . .	49
Captación, 50. Pérdidas, 52. La necesidad de agua considerada como una combinación de captación y pérdida, 55.	
Capítulo V: <u>Costo del agua</u> . . . . .	60
Necesidades de almacenamiento para hacer frente a las variaciones estacionales de la demanda, 63. Pérdidas por evaporación del embalse, 65. Costos de regulación del caudal superficial, 66.	
Capítulo VI: <u>Efectos de la escasez de agua</u> . . . . .	69
Primera estimación de los costos de almacenamiento, 70. Restriciones basadas en el costo marginal del agua, 72.	
Capítulo VII: <u>La cuestión de la calidad del agua</u> . . . . .	84
Capítulo VIII: <u>Variaciones sobre el tema principal</u> . . . . .	91

	Páginas
Mayor grado de seguridad, 91. Orden y calendario de las ampliaciones del almacenamiento, 93. Otras tasas proyectadas de crecimiento, 101.	
Capítulo IX: <u>Conclusiones y observaciones</u> . . . . .	102
Lo que aún queda por hacer, 107.	
Apéndice: <u>Tablas de costo de caudales</u> . . . . .	108
Bibliografía . . . . .	117

#### CUADROS

1 Distribución presunta de la población fabril y urbana entre los puntos de uso del agua río arriba y río abajo . . . . .	19
2 Distribución porcentual de la superficie regada entre los puntos situados aguas arriba y aguas abajo . . . . .	20
3 Proyecciones del producto nacional bruto y de la población para 1985	21
4 Proyecciones de población a una tasa media de crecimiento para 1985 . . . . .	22
5 Comparación de diversos valores, a base de distintas tasas de crecimiento, de la población, el producto nacional bruto y algunas industrias en 1985 . . . . .	23
6 Tierras regables que necesitan riego . . . . .	33
7 Tasa de riego . . . . .	33
8 Porcentaje de la distribución de tierras regadas por clases principales de cultivos . . . . .	34
9 Agricultura (riego): Necesidades de derivación y pérdida neta por superficie regable, 1985 . . . . .	35
10 Necesidades de agua para el ganado, 1985. . . . .	35
11 Distribución mensual de las necesidades de riego . . . . .	36
12 Producción de cobre y necesidades de agua . . . . .	37
13 Producción de salitre y necesidades de agua . . . . .	37
14 Uso de agua para la producción de energía termoeléctrica, 1965 y 1985 . . . . .	38
15 Proyecciones de la producción manufacturera, 1985 . . . . .	40
16 Distribución porcentual de la producción industrial por provincias	41
17 Tasas de uso de agua por unidad de producción manufacturera . .	42
18 Captación y pérdida de agua en el sector manufacturero según la hipótesis media B, 1985. . . . .	43
19 Consumo de agua en los sistemas municipales . . . . .	44
20 Necesidades medias de los sistemas municipales para 1985. . .	45
21 Coeficientes relativos a la contaminación industrial en la región central de Chile . . . . .	46
22 Necesidades de agua para la dilución de efluentes según la hipótesis media B (4mg/l de oxígeno disuelto), 1985 . . . . .	47

	Páginas
23 Captación de agua para usos fuera del río según la hipótesis media B, 1985 . . . . .	51
24 Aguas perdidas en usos fuera del río según la hipótesis media B, 1985 . . . . .	53
25 Síntesis de varias maneras de calcular las necesidades de caudal según la hipótesis media B, 1985. . . . .	54
26 Pérdidas de agua más dilución de desechos según la hipótesis media B, 1985 . . . . .	59
27 Recursos de agua por regiones . . . . .	61
28 Relación caudal-almacenamiento con el 85 por ciento de seguridad	62
29 Multiplicadores para ajustar el almacenamiento del caudal mínimo al caudal que se necesita estacionalmente. . . . .	64
30 Relación hipotética entre la altura y el volumen de los embalses .	65
31 Tasa media estimada de evaporación . . . . .	66
32 Tabla de costos unitarios según el tamaño del embalse . . . . .	67
33 Distribución hipotética de la capacidad de los embalses por tamaño	68
34 Caso I: Costos de la regulación de caudales con 85 por ciento de seguridad . . . . .	70
35 Valores medios de tierra de la clase IIIr para el avalúo y reajuste por utilización del agua . . . . .	73
36 Efecto de la limitación sobre el costo marginal del agua . . . . .	74-75
37 Extensión en hectáreas, regada y de riego previsto . . . . .	78
38 Comparación de producciones y costos del agua en varias proyecciones para la agricultura, 1985 . . . . .	79
39 Costos de almacenamiento en distintos modelos con coeficiente de almacenamiento . . . . .	82
40 Costos de tratamiento por equivalente de población municipal e industrial . . . . .	85
41 Caso I (agricultura residual): Costos estimados de mantenimiento de la calidad (4 mg/l de oxígeno disuelto) según la hipótesis media B, 1985 . . . . .	86
42 Combinación de menor costo para el mantenimiento de la calidad .	87
43 Necesidades de almacenamiento para niveles mayores de seguridad	92
44 Aumentos de producción por hectárea previstos de 1965 a 1970. .	105

#### APENDICE

1 Tarapacá: Costo de mantención del caudal. . . . .	108
2 Antofagasta: Costo de mantención del caudal . . . . .	109
3 Atacama: Costo de mantención del caudal . . . . .	109
4 Coquimbo: Costo de mantención del caudal . . . . .	110
5 Aconcagua-Valparaíso: Costo de mantención del caudal . . . . .	111
6 Santiago: Costo de mantención del caudal . . . . .	112
7 O'Higgins-Colchagua: Costo de mantención del caudal. . . . .	113
8 Curicó-Linares: Costo de mantención del caudal . . . . .	113
9 Ñuble: Costo de mantención del caudal . . . . .	114

10	Concepción-Cautín: Costo de mantención del caudal . . . . .	114
11	Valdivia-Llanquihue: Costo de mantención del caudal . . . . .	115
12	Atacama: Caso en que se construyeron primero los embalses pequeños. . . . .	115
13	Santiago: Caso en que se construyeron primero los embalses pequeños. . . . .	116

#### GRAFICOS

1	Costos marginales de caudal de distintos órdenes de prioridad en la construcción de embalses . . . . .	96
2	Costo de capital acumulado de distintos órdenes de prioridad en la construcción de embalses . . . . .	97
3	Atacama: Costos de capital acumulados y costos marginales anuales	98
4	Santiago: Costos de capital acumulados y costos marginales anuales	99



## PREFACIO

En todos los países del mundo el desarrollo y el uso inteligente de los recursos naturales tiene importancia fundamental para el crecimiento económico y el bienestar humano. La agricultura, la minería, la energía y el agua siguen siendo elementos básicos del progreso económico. Es evidente que estos elementos no se pueden separar de la destreza, preparación e iniciativa de las personas, ni pueden considerarse aisladamente de las instalaciones y equipos industriales, de la red de transporte y de la infraestructura social. Sin embargo, sigue en pie el hecho de que la planificación y programación cuidadosa del aprovechamiento de los recursos naturales en el marco general de la planificación social y económica puede contribuir mucho a la realización de las metas nacionales y regionales.

El estudio de Nathaniel Wollman ilustra un esfuerzo de esta naturaleza en materia de agua. En él se examina un país, Chile, para que los técnicos y administradores latinoamericanos interesados en la planificación del aprovechamiento del agua en especial y en el desarrollo económico en general puedan informarse con algún detalle acerca de la manera como es posible enfocar algunos de los principales problemas que plantean los programas de aprovechamiento del agua.

El propósito principal que inspiró este estudio fue elaborar una metodología que pudiera adaptarse a un programa de aprovechamiento del agua en cualquier país. Se eligió Chile para el estudio de casos exclusivamente por consideraciones de ubicación y conveniencia. La significación del trabajo, por lo tanto, reside más en su valor metodológico que en su valor práctico para un país determinado.

El proyecto fue auspiciado conjuntamente por Resources for the Future, Inc. y el Instituto Latinoamericano de Planificación Económica y Social, y es el primer resultado de un programa de cooperación establecido por el Dr. Raúl Prebisch, Director General del Instituto.

La Dirección de Riego del Ministerio de Obras Públicas de Chile hizo valiosos comentarios acerca del estudio del profesor Wollman, relacionados especialmente con la capacidad de riego. Creemos que la inclusión del trabajo preparado por la Dirección de Riego ("Capacidad de riego actual de los ríos de la Zona Central de Chile") como anexo al estudio del profesor Wollman es útil no sólo desde el punto de vista académico, como material de referencia, sino también porque los datos que contiene representan el conocimiento acumulado de expertos chilenos. <sup>1/</sup>

---

<sup>1/</sup> Véase el Apéndice C de la edición inglesa de esta obra.

El Instituto y "Recursos para el Futuro" no comparten necesariamente las opiniones vertidas en este estudio. El análisis que en él se hace y sus conclusiones son de responsabilidad del autor. Sin embargo, creemos que este trabajo trata materias de importancia para el aprovechamiento de los recursos y el desarrollo económico de América Latina, y que su enfoque analítico merece atención.

CRISTOBAL LARA BEAUTELL

JOSEPH L. FISHER

## RECONOCIMIENTOS

Si bien las conclusiones y los innumerables cálculos que condujeron a ellas son de exclusiva responsabilidad del autor, el presente estudio no habría podido terminarse y ni siquiera iniciarse, sin la decidida colaboración prestada por muchas personas e instituciones chilenas.

El autor le agradece especialmente a Carlos Plaza, funcionario del Instituto Latinoamericano de Planificación Económica y Social, su ayuda en la formulación del proyecto y su revisión crítica del manuscrito, y a Manuel Agosín, quien efectuó todos los cálculos, entrevistó a funcionarios públicos, realizó varias investigaciones relacionadas con este estudio y lo revisó cuidadosamente. Está en deuda de gratitud con Fernán Ibáñez, Ricardo Harboe y Juan Poblete, del Centro de Planeamiento de la Universidad de Chile, por su excelente informe sobre los recursos hidráulicos de Chile y en particular con el segundo de ellos por contribuir a resolver problemas que surgieron durante la realización del estudio. Asimismo expresa su reconocimiento al Centro de Investigaciones Económicas de la Universidad Católica por su ayuda en la preparación de proyecciones económicas.

Son tantos los funcionarios públicos de Chile, de los organismos internacionales, de la Misión AID de los Estados Unidos y del Programa Chile-California que han prestado su generosa ayuda, que una simple enumeración no bastaría para expresar la gratitud del autor. La colaboración de Michael Nelson y John Holsen, en especial, fue mucho más amplia de lo que se reconoce en el texto. Se deja expresa constancia de la gratitud del autor hacia los funcionarios gubernamentales de Chile que leyeron la primera versión de este estudio y formularon observaciones.

El autor desea agradecer a Adolfo Dorfman, de la CEPAL, y a Orris C. Herfindahl, de "Recursos para el Futuro", la generosidad con que compartieron con él su tiempo y sus ideas, y a Eduardo García, de la CEPAL, sus atinadas observaciones. Expresa su reconocimiento a Geraldine Jaimovich por dirigir la preparación del manuscrito y por resolver muchos problemas administrativos; a Allen V. Kneese, Sterling Brubaker, Blair T. Bower y Pierre R. Crosson, de "Recursos para el Futuro", sus sugerencias a la primera versión. En fin, agradece también a "Recursos para el Futuro" y al Instituto de Planificación Económica y Social que hayan hecho posible la investigación, así como a la Universidad de Nuevo México, que lo haya apoyado en el aspecto administrativo.

Una sola estadía de dieciocho meses en Chile equivale a una fotografía instantánea más bien que a una película. Por ello es probable que el autor no haya captado adecuadamente los cambios que están ocurriendo o el ritmo de dichos cambios. El período en referencia, desde julio de 1964 a diciembre de 1965, fue de especial interés porque en su transcurso se eligió un nuevo gobierno consagrado a la reforma social y económica. El autor aprendió mucho de los economistas, ingenieros, científicos, profesores y adminis-

tradores que conoció en Chile. Le ha quedado un sentimiento de admiración por un país de gran belleza y de afinidad con su pueblo, pues, no obstante las 6 000 millas que separan a Santiago de Albuquerque, subsiste el hecho de que el mundo chileno es también el mundo de Nuevo México.

Las opiniones aquí expresadas son de exclusiva responsabilidad del autor y en varios casos contrarias a las de personas con quienes trabajó muy de cerca.

NATHANIEL WOLMAN

Albuquerque, Nuevo México, junio de 1966.

## ADVERTENCIA

El Instituto Latinoamericano de Planificación Económica y Social presenta en este cuaderno un extracto de la obra del profesor Nathaniel Wollman, The Water Resources of Chile. An Economic Method for Analyzing a Key Resource in a Nation's Development, estudio que auspició conjuntamente con "Recursos para el Futuro", de Washington, D. C.

La versión provisional de la obra completa fue comunicada a los especialistas y personas vinculadas al tema, principalmente en Chile, pidiéndoles opiniones y comentarios. También en la sede del ILPES se hizo un seminario en diciembre de 1966 con el mismo objetivo. La obra definitiva, incorporadas las sugerencias valederas, salió a la luz pública en inglés en 1968 (The John Hopkins Press, Baltimore, Maryland, U. S. A.) bajo la dirección de Recursos para el Futuro.

Al tiempo transcurrido desde que se efectuó esta investigación se debe que no estén vigentes muchas de las circunstancias del caso chileno ni, por ende, las estimaciones que en ellas se basan. Sin embargo, el orden de magnitud de los fenómenos manejados por el profesor Wollman en su modelo y la metodología del análisis por él utilizada, así como su presentación, siguen siendo de actualidad. De ahí que el ILPES haya querido presentar un extracto de la obra original para facilitar al público de habla castellana la consulta de los aspectos metodológicos de la obra. No se la ha resumido demasiado por conservar el estilo del autor y para dar una buena idea de la situación general que enfrenta Chile en materia de recursos hidráulicos, la que no ha cambiado sustancialmente desde que se escribió la obra.

El presente extracto reproduce los capítulos I y II de la obra principal, en los que se hace el planteamiento del estudio y se describe el modelo de proyección, así como los capítulos XII al XVI, numerados en este cuaderno del IV al VIII. En estos últimos capítulos se hace la presentación de las necesidades globales de agua y se estudia el costo de abastecerlas en diferentes hipótesis, de todo lo cual se deducen conclusiones y observaciones. Se omiten en esta presentación los capítulos III al X de la obra completa, que se refieren a la proyección del uso del agua en los diversos sectores consumidores, y en vez de ellos se ofrece un capítulo (el III) que resume en lo posible los comentarios del autor sobre la situación de dichos sectores, concentrándose en el método de cálculo y en los parámetros indispensables para reproducir las proyecciones. Como se dijo más arriba, la presentación resumida de esta parte responde al hecho de que se basa en buena parte en circunstancias que han perdido actualidad. Por esta razón se ha eliminado también en este cuaderno la correspondiente información estadística. Quien quiera ahondar en el estudio del tema, puede en todo caso remitirse a la edición inglesa.

Al dar a la publicidad este extracto, el ILPES cree ofrecer a los estudiosos de la planificación una orientación útil.

# CHILE: REGIONES DE RECURSOS HIDRAULICOS

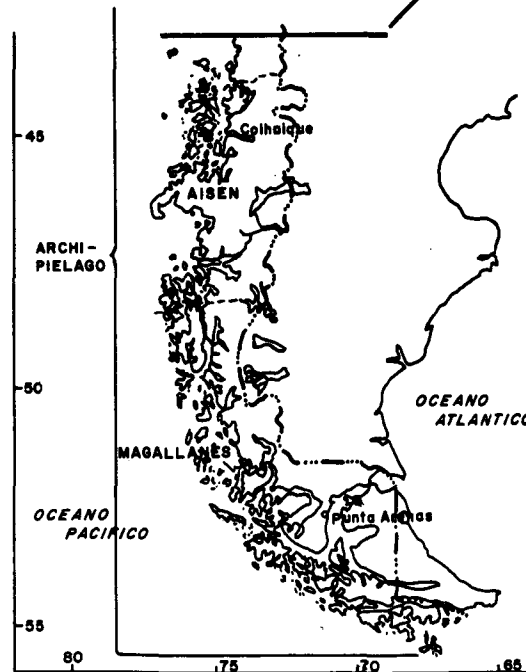
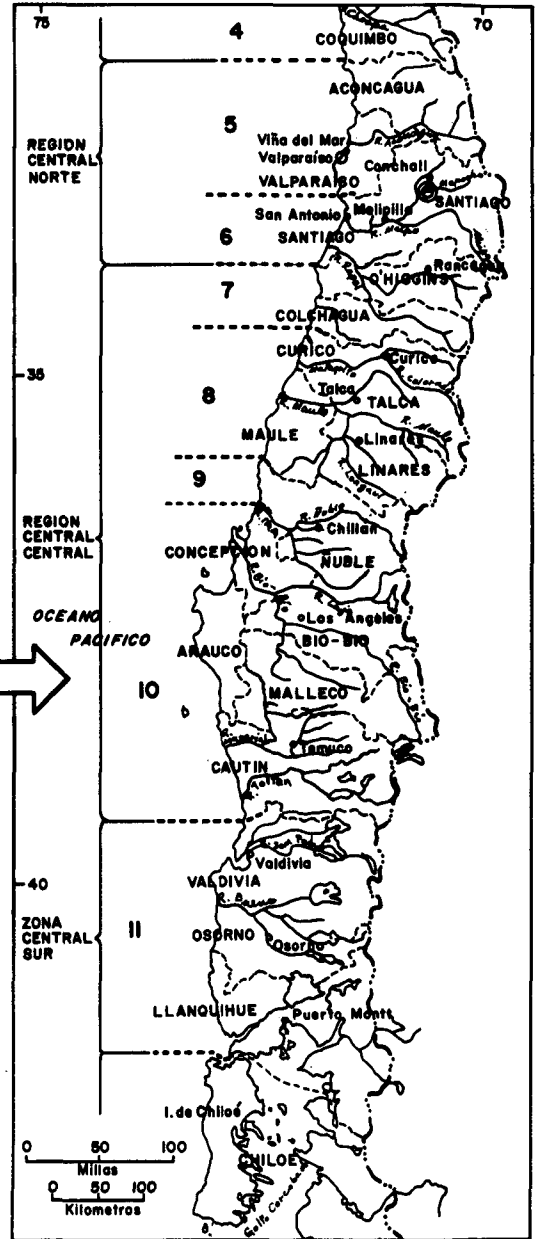
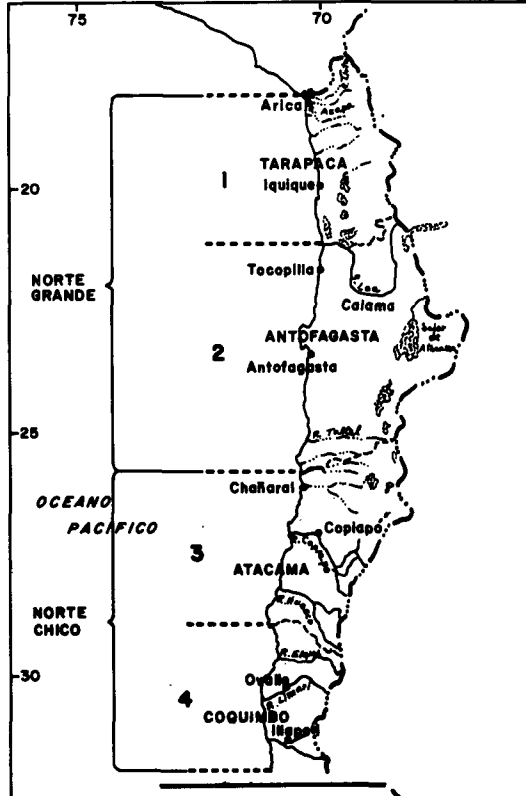
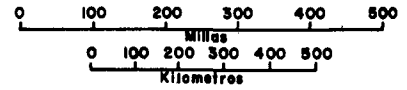
--- Deslindes y números de la región de recursos hidráulicos

MAULE Deslindes y nombres de la provincia

NORTE GRANDE Región geográfica

----- Ríos intermitentes

Salares



# Capítulo I

## PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

Como primera finalidad, el presente estudio se propuso averiguar cuál era la situación actual en lo que toca a la utilización, conocimiento y planificación de los recursos hidráulicos en América Latina, para señalar luego en que forma la planificación de esos recursos se relaciona con la planificación económica general. Como subproducto se esperaba que proporcionara una necesaria base de comunicación entre ingenieros y especialistas en ciencias físicas, por una parte, y economistas y gobernantes, por la otra, para formar consenso sobre el papel del agua en el desarrollo económico.

Las investigaciones de la CEPAL mostraban que la inversión en proyectos hidráulicos -desde grandes represas para fines múltiples hasta pozos perforados para un solo usuario- representa una parte considerable de la inversión total en la mayoría de los países latinoamericanos. Ha habido sumo interés en la planificación de las aguas no sólo por el gran potencial económico que encierran, sino por la esperanza de que el estudio de tales recursos pudiera revelar posibilidades de desarrollo económico hasta ahora desconocidas.

Se eligió a Chile por varios motivos: tiene una larga tradición de riego agrícola y sus datos hidrológicos son mejores que los de otros países latinoamericanos, con la posible excepción de México. Aparte las estadísticas primarias, existían otras informaciones. En efecto el primero de una serie de estudios realizados por la CEPAL sobre los recursos hidráulicos se refirió a Chile, y ese estudio estimuló a la Dirección de Planeamiento del Ministerio de Obras Públicas para realizar otras investigaciones. Por otro lado, en 1964, cuando se hacían preparativos para el presente estudio, se hablaba de posibles cambios en la organización administrativa de Chile, de modificaciones en el régimen jurídico de las aguas y de avances en la planificación por regiones, todo lo cual hacía abrigar la esperanza de que el estudio podría encontrar favorable acogida. Aunque tanto los organismos nacionales como los internacionales reconocen la necesidad del aprovechamiento múltiple de las cuencas hidrográficas; y son capaces de realizar cualquier análisis necesario para tal objeto, ni los estudios de la CEPAL ni los del gobierno de Chile llegaron a constituir un verdadero "modelo" sistemático, por rudimentariamente que se lo defina. <sup>1/</sup>

Una explicación plausible de ello podría ser la falta de estadísticas básicas. En efecto, el estado fragmentario, aleatorio y a menudo contradictorio de la información básica sobre la actividad económica, las técnicas de utilización del agua, las mediciones hidrológicas y los costos de aprovechamiento de los recursos hidráulicos, podrían hacer

---

<sup>1/</sup> A pesar de que Chile, según nuestras informaciones, es el país latinoamericano que más ha avanzado en esta materia.

creer que no es posible construir un modelo de utilización, por primitivo que sea. Estoy en completo desacuerdo con quienes aseveran que, de no existir datos de alta calidad, no deben utilizarse los disponibles. Si un modelo es útil para orientar la política, lo es igualmente como indicador de los tipos de datos necesarios y del peligro de basar en datos deficientes la política a seguir.

Algunas de las dificultades que se hallaron durante el análisis hacen pensar en varias razones por las que no se ha elaborado hasta ahora un modelo como el que aquí se propone, a saber:

1. Carencia de criterios de optimización o suboptimización que sirvan de base a tal modelo;
2. preferencia por el estudio del aprovechamiento de las cuencas hidrográficas, considerando a cada una como una microeconomía;
3. dificultad en formular proyecciones económicas porque:
  - a) las series históricas son cortas y están sujetas a variaciones discontinuas, y
  - b) se ha prestado escasa atención a la división de la economía en componentes regionales;
4. falta de mecanismos gubernamentales para lograr la coordinación que requieren las investigaciones sobre las finalidades múltiples que sirve un sistema fluvial, y para la planificación, financiamiento y administración de tal sistema. Entre los diversos organismos chilenos que se ocupan de aguas hay una colaboración de hecho más que de derecho, que llega únicamente hasta donde le parece conveniente a cada organismo. 2/

Muchos de esos motivos son otros tantos temas que habría que incluir en un informe completo sobre los recursos hidráulicos del país. No procede hacerlo así en este informe, en el que hemos prestado escasa atención al derecho de aguas, al análisis de costos-beneficios de los proyectos para cuencas hidrológicas y a la organización administrativa. Tampoco nos hemos detenido en el buen o mal éxito que hayan tenido determinados proyectos hidráulicos. No es que se haga caso omiso de esos aspectos, pero como se han tratado con mayor o menor detalle en otros estudios, sólo se mencionan de pasada, salvo en uno o dos casos en que la investigación dio a conocer informaciones no publicadas anteriormente.

Aunque el estudio se refiere únicamente a Chile, el autor, así como los funcionarios de la CEPAL y del Instituto, esperan que los resultados sirvan como modelo para otros casos. Chile ha servido de experiencia para llegar a comprender en todo su alcance los problemas "latinoamericanos" de los recursos hidráulicos. Como cada país de Amé-

---

2/ Al leer una versión preliminar de este estudio, Blair Bower, de "Recursos para el Futuro" comentó que habría que agregar 1) la falta de definición de los problemas de decisión en condiciones de incertidumbre (tema al que ha estado prestando atención Estevam Strauss, del Instituto Latinoamericano de Planificación Económica y Social, y 2) la dificultad de comparar las inversiones en obras hidráulicas con otros tipos de inversión.



rica Latina presenta una realidad sui generis, sólo el método de análisis es transferible y ni de esto podremos estar seguros hasta haberlo ensayado.

Los capítulos siguientes comprenden primero, una descripción del modelo económico según el cual se han proyectado las necesidades de agua hasta el año 1985; segundo, un análisis del estado actual del uso del agua y de la información acerca de este uso considerada desde el punto de vista de lo que se necesita para el modelo, y por último los resultados de las proyecciones.

### Algunas características geográficas

El clima de Chile varía entre extremos de sequedad y humedad, y desde el subtropical hasta el polar. De este a oeste también hay una amplia variación climática, de modo que el santiaguino puede coger naranjas del árbol mientras observa con un catalejo el movimiento del andarivel de ski en Farellones, a 30 kilómetros de distancia.

En este estudio se ha dividido Chile en regiones hidrológicas delimitadas en forma tal que las divisorias de las aguas y las divisiones administrativas coinciden exacta o aproximadamente. Hay regiones que contienen varios ríos, mientras que otras sólo contienen uno. Todos los ríos de Chile son relativamente cortos y casi todos corren de los Andes hacia el Pacífico en una línea más o menos recta. <sup>3/</sup>

Chile continental encierra veinticinco provincias; allí fluyen varias docenas de ríos, 36 de los cuales llevan cantidades apreciables de agua y, con una excepción, tienen mediciones útiles de gasto. La disponibilidad de agua no constituye una restricción económica en las tres provincias de los archipiélagos (Chiloé, Aysén y Magallanes). De ahí que se haya prestado escasa atención en este estudio a estas provincias y a sus ríos, aunque de vez en cuando se les asigna un valor numérico y que se haya omitido toda referencia a la Antártica y a las islas chilenas.

El resto del territorio se distribuye en once regiones hidrológicas. Seis de ellas abarcan una provincia cada una (Tarapacá, Antofagasta, Atacama, Coquimbo, Santiago y Ñuble); dos contienen otras tantas provincias (Aconcagua-Valparaíso y O'Higgins-Colchagua); una cubre tres provincias (Valdivia, Osorno y Llanquihue); otra cuatro (Curicó, Talca, Maule y Linares) y la última cinco (Concepción, Arauco, Bío-Bío, Malleco y Cautín). La semejanza del mapa de Chile a una columna dorsal se acentúa por su aspecto vertebral, ya que las provincias aparecen ordenadamente superpuestas unas sobre otras. Las tres del extremo norte (Tarapacá, Antofagasta y Atacama) y las dos del extremo sur (Aysén y Magallanes) son relativamente grandes. Las demás son más o menos pequeñas, del tamaño de un condado en Nuevo México o Arizona.

Las once regiones hidrológicas pueden agruparse en cinco regiones mayores, del modo siguiente:

---

<sup>3/</sup> Unos pocos se apartan de la norma, pero la desviación no significa mucho. Así, por ejemplo, el río Loa, en Antofagasta, forma una gran letra U en su travesía por el desierto del norte. En el sur algún río corre excepcionalmente en la dirección de los meridianos (el río Petrohué).

1. El Norte Grande es la denominación que se da en Chile a las dos provincias del extremo norte: Tarapacá y Antofagasta. Constituye una de las más famosas regiones desérticas del mundo, cuya aridez casi no tiene paragón en el mundo. Al decir de sus propios habitantes, allí "nunca llueve". Según las estadísticas oficiales, la precipitación media anual en Tocopilla, por ejemplo, es de 3 milímetros y de 11 milímetros en Antofagasta. Suelen pasar años entre una lluvia y otra. En el desierto hay oasis mantenidos por corrientes que nacen en los Andes. En algunos casos son obra humana y los alimentan acueductos que corren cien o más kilómetros por el desierto. Los acueductos atienden las necesidades urbanas y mineras, pero no se usan para el riego. La agricultura se practica en las márgenes de los ríos y ocupa, cuando mucho alrededor del 1 por ciento de la superficie de ambas provincias. (La superficie regada se hacía ascender en 1959 a 11 000 hectáreas, siendo así que las dos provincias miden unos 90 000 km<sup>2</sup>.) Hay cifras sobre el caudal del Lluta y el Lauca en la provincia de Tarapacá, la que limita por el norte con el Perú, pero no hay datos utilizables sobre el Azapa.

La otra provincia del Norte Grande es Antofagasta, que por muchos años ha sido la principal fuente de ingresos externos de Chile. Antes era el salitre y ahora es el cobre, y Antofagasta fue y sigue siendo el productor principal de ambos. La provincia de O'Higgins, al sur de Santiago, es también un gran centro cuprero, y Atacama puede adquirir importancia con el tiempo. Aparte la minería, el Norte Grande contiene dos centros industriales. Iquique y Arica, en Tarapacá, son los centros de la industria chilena de la harina de pescado; Arica es también un centro de armadura de automóviles y televisores. La presencia de la anchoveta en las aguas de la corriente de Humboldt ha impuesto la ubicación de la industria de harina de pescado en Iquique. La instalación de las armaduras de automóviles y televisores en Arica es de más difícil justificación. Según Leland L. Johnson, "ningún fabricante habría optado por Arica motu proprio, sino que habría preferido Santiago o un lugar vecino".<sup>4/</sup> Si la conveniencia de la industria se sobrepusiera al deseo de fomentar la economía ariqueña, es probable que la industria se trasladara al sur. Antofagasta tiene un río mensurable, el Loa, que es también el más largo de Chile. La mina de cobre de Chuquibambilla a tajo abierto, es una de las mayores del mundo. El beneficio y fundición del cobre se realizan en otros varios lugares de la provincia.

2. El Norte Chico se compone de las dos provincias siguientes, Atacama y Coquimbo, cada una de las cuales constituye una región hidrológica. En Atacama se encuentran los ríos Copiapó y Huasco, y en Coquimbo los ríos Elqui, Limarí y Choapa. Se trata de dos provincias de transición entre el verdadero desierto del norte y el clima mediterráneo del Valle Central. En ambas predomina la agricultura, aunque hay alguna minería y elaboración de minerales. Atacama tiene probabilidades de convertirse en un gran centro productor de cobre. Los valles de los ríos Elqui y Huasco son famosos por sus uvas y el pisco que se

---

<sup>4/</sup> Leland L. Johnson, Problems of Industrialization in Chile: Some Preliminary Observations, Memorandum RM-4794-AID, diciembre de 1965 (The RAND Corporation, Santa Mónica), p. 5.

destila de ellas. Se cultivan frutas, entre las cuales la chirimoya de La Serena alcanza alto precio en Santiago.

3. La región central norte contiene dos regiones hidrológicas, la de Aconcagua-Valparaíso y la de Santiago, que está en el extremo norte del Valle Central. La primera está formada por el Aconcagua y dos pequeños ríos independientes, el Petorca y el Ligua. La provincia de Santiago constituye una región hidrológica que tiene más o menos los mismos límites que la cuenca del Maipo. En estas provincias se encuentran gran parte de la población de Chile, el centro de la vida financiera, comercial e intelectual, la sede del gobierno nacional, un gran centro de deportes invernales y uno de los más famosos balnearios y casinos de Sudamérica. Pese a las grandes concentraciones urbanas de Santiago y Valparaíso-Viña del Mar, estas regiones son importantes centros agrícolas. La provincia de Santiago supera a todas las demás en superficie regada, lo cual podría explicar el predominio de la ciudad. Los cultivos, muy diversificados, van desde la fruta y las hortalizas hasta el trigo, la cebada, el maíz, el arroz, los forrajes y las empastadas. Entre las frutas figuran naranjas, limones, tunas, chirimoyas, paltas y aceitunas; también hay viñas y los huertos usuales de la zona templada.

Santiago es ahora una ciudad de unos dos millones y medio de habitantes. Sus desechos se vacían sin ser tratados en el Mapocho, afluente del Maipo, y esas aguas se utilizan para el riego en el curso inferior del río.

4. La región central media, consta de cuatro regiones hidrológicas: una formada por las provincias de O'Higgins y Colchagua; otra por las de Curicó, Talca, Maule y Linares; otra más por la provincia de Ñuble, y la cuarta por las de Concepción, Arauco, Bío-Bío, Malleco y Cautín. O'Higgins y Colchagua juntas forman la cuenca del río Rapel. La región de Curicó, Talca, Maule y Linares contiene los ríos Mataquito y Maule. Ñuble tiene un río, el Itata. La región comprendida entre Concepción y Cautín posee cuatro ríos, el Bío-Bío, el Paicaví, el Imperial y el Toltén. En toda esta zona predomina la agricultura. Hay, además, el gran centro productor de cobre de Sewel, en O'Higgins; industrias livianas (por ejemplo, fósforos) en Talca y algunas otras pequeñas ciudades, y una gran concentración industrial (acero, tejidos) en torno a Concepción.

Yendo de norte a sur, la zona central media es la primera parte de Chile, donde el crecimiento económico no puede verse obstaculizado por insuficiencia de agua. Más adelante se verá que, consideradas tan sólo desde el punto de vista físico, las necesidades previstas de esta región no son más que una pequeña fracción del caudal medio anual disponible, pero suficientes para requerir cierta regulación. Los recursos hidráulicos de la región de Concepción a Cautín están en gran parte inexplorados sea para la agricultura, la industria o la generación de electricidad. Por el sur se necesita riego hasta Cautín. Las palmeras crecen en Concepción (a 37° de latitud sur). El gobierno chileno abriga la esperanza de que Concepción pueda llegar a ser un gran centro de industria pesada. En este distrito se han establecido fábricas de papel y hay otras en estudio. La industria siderúrgica está en expansión.

5. La región central sur es el extremo meridional del Valle Central, zona verde y con abundante agua compuesta por las provincias de Valdivia, Osorno y Llanquihue, que integran entre sí la última de las once regiones hidrológicas que se tratan en este informe. El agua no constituye aquí un problema. Los actuales caudales mínimos son muy superiores a las necesidades previsibles, a menos que se requieran represas para generar electricidad. Hay grandes reservas hidroeléctricas no aprovechadas aún. La agricultura consiste sobre todo en cereales, forraje y pastos. Aquí se encuentran los lagos de Chile: el Villarica, el Ranco, el Llanquihue, el Todos los Santos y muchos otros. También existen importantes reservas forestales. Esta zona suele denominarse el "Sur Chico".

Puerto Montt, situado sobre el Seno de Reloncaví, provincia de Llanquihue, es el principal punto de contacto con la isla de Chiloé y el territorio de archipiélagos de esa provincia y las de Aisén y Magallanes. Desde Puerto Montt al sur se extienden los fiordos y canales, por donde se puede navegar hasta el Estrecho de Magallanes sin salir a mar abierto sino en un trayecto breve.

6. El archipiélago es de una belleza panorámica insuperable. Después de la creciente desolación de las islas y la blancura reluciente de los ventisqueros que llegan hasta el mar, no hay transición al espectáculo de Punta Arenas y de los bosques y praderas de la zona que bordea el Estrecho de Magallanes. Por aquí se entra a una región de espléndidas y ásperas montañas, profundos lagos y bosques de robles, y el único verdadero parque nacional que posee Chile. A la vista de Punta Arenas, a poca altura sobre el horizonte, se encuentra Tierra del Fuego, de donde Chile obtiene su petróleo. (Más al norte se encuentra carbón, cerca de Concepción, donde se halla la industria siderúrgica.) Los ríos del Sur Grande (provincias de Aisén y Magallanes) quizás lleguen a utilizarse algún día para producir electricidad. Actualmente, y dentro del futuro previsible, corren hacia el mar sin perturbación alguna.

## Capítulo II

### EL MODELO DE PROYECCION

Para los propósitos del modelo se suponen en cada región dos puntos geográficos a los cuales se refieren el abastecimiento de agua y la actividad de esa región: uno "aguas arriba" y el otro "aguas abajo". El "abastecimiento de agua" es la cantidad de agua superficial disponible según consta en los registros de gasto. En muchos casos determinada proporción, desconocida, de las aguas subterráneas se incorpora al registro de aguas superficiales; en cambio cierto volumen de aguas superficiales no figura en los registros correspondientes.

Los costos "normales" de tratamiento y distribución del agua no serán considerados parte de los "costos del agua", puesto que se incurre en ellos cualquiera que sea la cantidad naturalmente disponible y más bien en relación con el número de consumidores y la calidad del agua suministrada. Si la calidad se deteriorara sensiblemente o si se planteara el caso extremo de tener que recurrir al agua de mar para la fabricación de agua dulce, los costos de tratamiento tendrían importancia. Aunque se estaba estudiando la posibilidad de instalar en Antofagasta un equipo desalinizador, en el análisis no se incorpora ese proceso ni otros costos particularmente elevados de tratamiento. Se supondrá que de los efluentes industriales y municipales se eliminan las sustancias bioquímicas que consumen oxígeno, lo que permitiría a los usuarios ulteriores prescindir de gastos de tratamiento muy altos.

Los costos del agua incluirán entonces:

1) el costo de regulación del caudal superficial para establecer el régimen que exige la demanda de agua de la región, incluido el caudal de dilución de efluentes necesario para mantener una cantidad determinada de oxígeno disuelto en el río después de recibir las aguas servidas, quedando ello sujeto al límite impuesto por el gasto medio anual en el periodo de registro, más

2) los costos del tratamiento de los desperdicios domésticos orgánicos y de los efluentes industriales con objeto de reducir la cantidad de sustancias bioquímicas que se vierten al río. <sup>1/</sup>

Así, pues, los "costos del agua" serán función de las condiciones hidrológicas fundamentales y de la suma de todos los usos a que se destina el agua, lo cual se manifiesta en una "curva del costo" del agua, distinta, por ejemplo, a la del acero. El costo

---

<sup>1/</sup> El costo de tratamiento de efluentes se basó en estimaciones preparadas para los Estados Unidos y dicen relación con los procesos corrientes aplicados a las aguas servidas. Se supone que en Chile se utilizarían métodos análogos.

de un lingote es función de su composición metalúrgica, del proceso de producción a que fue sometido, del volumen de producción en relación con la capacidad y del precio por unidad de insumos, pero no interviene en su determinación la aplicación que se dé al acero. Como el agua puede volver a utilizarse, sus costos con respecto a un usuario pueden ser, aunque no necesariamente, función de los usos anteriores que tuvo. Determinados costos, como los destinados a regular un caudal incontaminado en un punto cualquiera del río, pueden estimarse con independencia del uso que se haga del agua. La escala o curva del "costo de regulación" muestra los costos unitarios al aumentar el grado de regulación. Es posible estimar cuántas "unidades" de regulación se "comprarán" determinando el gasto del río en un punto y momento dados. Pero la escala del costo de regulación no está totalmente determinada ex ante, ya que pueden agregarse presas de distintos tamaños y costos en diferente secuencia. De ese modo, una sola secuencia elegida arbitrariamente dará una curva de costo para los fines de la planificación. <sup>2/</sup>

El costo de mantenimiento de la calidad del agua también forma parte del costo que interesa. En todo mercado el producto se define según características de calidad y el agua no es una excepción. La calidad, que depende de las propiedades químicas, físicas y biológicas del agua, influye en su capacidad para cumplir diversas funciones. Aunque no pudieron abarcarse en el análisis todos los aspectos relacionados con la calidad, se estimarán los costos de tratamiento del agua para eliminar las sustancias orgánicas que se descomponen y los necesarios para asegurar un caudal de agua de buena calidad con el que mezclar los efluentes después de ser sometidos a tratamiento. Las estimaciones pueden contener un margen de error desconocido, por tres razones: 1) se tomaron de cálculos efectuados para los Estados Unidos y reflejan la capacidad de asimilación de desperdicios de los ríos de la región central del Pacífico (en su mayor parte de California); 2) contienen un factor de error desconocido correspondiente a los Estados Unidos, y 3) hasta no conocer el problema de la calidad con mayor detalle, tanto en el presente como en el futuro previsible en cuanto afecta a los ríos de Chile, no hay seguridad de que el oxígeno disuelto y la asimilación de sustancias biodegradables sean realmente los factores críticos. Pudiera ocurrir que la disolución de sólidos tenga mayor importancia. No hay manera de tener en cuenta este aspecto en el análisis ya que no existen datos con respecto a Chile y los Estadounidenses no son tan sistemáticos como para intentar su traslación.

Una vez calculados los costos de regulación y tratamiento de desperdicios para una modalidad prevista de actividad económica, puede establecerse: 1) si los usos previstos del agua son compatibles con su disponibilidad física, suponiendo la regulación "total"; <sup>3/</sup> 2) si existe la combinación de tratamiento de desperdicios y caudal de dilución que reduce al mínimo el costo del agua; 3) si los costos marginales del agua varían apreciablemente entre distintas regiones y, en consecuencia, si ello aconsejaría una distribución diferente del uso del agua entre regiones o una combinación distinta en la producción de bienes y servicios.

---

<sup>2/</sup> Sujeta a la aleatoriedad estadística de las condiciones hidrológicas y a la inseguridad sobre el costo de ciertas obras de ingeniería -como las descargas- mientras se establece el uso de la presa.

<sup>3/</sup> Ya que nunca puede haber seguridad sobre las variaciones futuras del caudal, sería más exacto hablar de una regulación "muy alta".

Los economistas objetan que al enfocar el estudio de cualquier bien o servicio económico según el criterio de los requerimientos no se tiene en cuenta la posibilidad de que varíen los coeficientes técnicos implícitos en consonancia con las condiciones económicas. Se ha considerado la posibilidad del progreso técnico aplicando tasas de utilización del agua para riego que implican un uso más económico que el actual, <sup>4/</sup> pero subsiste una diferencia considerable entre las necesidades teóricas de los cultivos y las cifras que se han adoptado para 1985. No se ha hecho ningún intento especial de proyectar una técnica más progresista en el uso del agua para otras actividades. La proyección muestra que inevitablemente habrían de ajustarse ya sea el coeficiente de utilización del agua por unidad de producto, la distribución geográfica de la actividad o la composición de la producción nacional, sobre todo en lo que toca a su división entre bienes que afectan y que no afectan el recurso hidráulico. Sin embargo, estas son conclusiones derivadas de la proyección y no supuestos adoptados para hacer la proyección misma.

Para establecer la relación entre la demanda y la oferta futuras es preciso englobar en una sola cifra los distintos usos del agua. El método de agregación para llegar a lo que se denomina "necesidad" depende en parte de la política y los objetivos adoptados en la economía de Chile. Así, por ejemplo, hay que formular una hipótesis sobre la norma de calidad aplicable al agua en el río, ya que no hay una política a la cual recurrir. Como no se dispone de la información necesaria para seguir el curso de las aguas punto por punto, teniendo en cuenta los requisitos de calidad y cantidad, las posibilidades de aprovechamiento múltiple del agua en el río y fuera de él, la capacidad natural de recuperación del río, y su efecto sobre la regulación del río y las posibilidades de tratamiento en los puntos de toma o descarga hay que emplear conceptos más flexibles y empíricos sobre las "necesidades" de agua. La tarea principal consiste en definir lo que se entiende por "necesidades" de suerte que coincida con la idea de capacidad para llenar las necesidades y con lo que costará satisfacerlas.

El criterio basado en las necesidades no se pregunta si los beneficios que reporta la inversión en los recursos de agua son iguales o superiores al costo, aunque el análisis proporcione informaciones que puedan emplearse intuitivamente con ese fin. En general, el análisis costo-beneficio puede aplicarse para adoptar decisiones marginales en las que estén dados en su mayoría los elementos relacionados con la decisión. Así ocurriría, por ejemplo, en el caso de decidir si vale la pena invertir en un sistema de riego en un valle especial, cuando se conocen las posibilidades de producción y de mercado. El método aquí adoptado comienza con una lista nacional de bienes a producir y la cantidad de agua dulce disponible en forma de escurrimiento superficial, y concluye con una modalidad regional de producción compatible con desembolsos especificados en recursos de agua. Adoptando varias hipótesis simplificadoras se pueden obtener respuestas provisionales, dentro de los límites de sus planteamientos y de la calidad de las informaciones, a las siguientes preguntas:

- 1) ¿Cuáles serán las necesidades de agua en 1985, a base de una extrapolación prudente de las tendencias observadas en la actualidad o de los planes actuales?
- 2) ¿En qué medida impedirá la escasez de agua que se lleven a la práctica dichos planes?

---

<sup>4/</sup> El uso se refiere aquí a volúmenes brutos y netos.

- 3) ¿Cuáles serán los "costos críticos" del suministro de agua para atender las necesidades previstas? Se entiende por "costos críticos" los que podrían eliminarse fácilmente trasladando una actividad de una región a otra.
- 4) ¿Qué modificaciones de las actividades previstas podrían tener repercusiones importantes sobre los desembolsos necesarios en relación con el agua?
- 5) ¿Qué modificaciones en las actividades proyectadas podrían producir el rápido incremento de los costos marginales del agua?
- 6) ¿En qué forma influirán los límites físicos y económicos de la oferta en la distribución regional de actividades?

Las hipótesis simplificadoras que han debido adoptarse son las siguientes:

- 1) Se supone que todas las regiones en que se han dividido los recursos de agua contienen dos puntos geográficos entre los cuales se divide la actividad de la región: uno aguas arriba y otro aguas abajo. El punto situado aguas arriba comprende la parte de la región tan alejada del océano que toda el agua de descarga de sus industrias, minas, centrales de energía, ciudades o proyectos de riego puede aprovecharse nuevamente. El punto situado aguas abajo comprende la región tan cercana al mar que cabe admitir que toda el agua descargada en otra masa de agua se pierde irrevocablemente como agua dulce y equivale a agua evaporada. Se presume que en la minería, en la generación de energía termoeléctrica y en la industria manufacturera es posible hacer recircular el agua dulce dentro de la planta.
- 2) Se supone que las necesidades de agua de una región son iguales a la cifra más alta de las tres siguientes:
  - a) la suma de las pérdidas de agua río arriba (es decir, consumo por evaporación o transpiración) más las captaciones de agua río abajo, o
  - b) la suma de las captaciones sincrónicas en todos los puntos cuya separación entre sí es tal que el agua que vierte un usuario en cualquiera de estos puntos no influye en la cantidad a disposición de un usuario en cualquiera otro de estos puntos, o
  - c) la suma de las pérdidas de agua más el caudal de dilución de efluentes.

La cantidad de agua que "necesita" cualquier región depende no sólo de las captaciones y pérdidas ocasionadas por las demandas que exigen retirar agua del río, sino de los usos a que el agua se destina en el río mismo, y -en un modelo más completo- de la conjugación entre los costos del agua tomada y el mantenimiento de la calidad del agua en el río por tratamiento de los desperdicios y dilución. Hasta ahora se ha dado poca atención en Chile al mantenimiento de la calidad del agua en el río, ya sea para satisfacer los usos en el río mismo o para asegurar el suministro de agua de calidad adecuada a los usuarios que la extraen sucesivamente. En la costa chilena no hay estuarios, son pequeños o son alimentados por caudales tan grandes que no ha habido preocupación por los efectos adversos de los usos del agua río arriba. Chile se ha preocupado tan poco por el problema de la contaminación que no sólo no se han previsto los caudales de dilución para después del tratamiento, sino que ni siquiera Santiago, su capital, cuenta con instalaciones para el tratamiento de las aguas servidas. En estas circunstancias



quizá sea algo ilusorio suponer que pueda haber un conflicto entre los usos del agua para la dilución de efluentes y otros usos del agua en los próximos veinte años.

Las autoridades chilenas están facultadas para impedir que las industrias contaminen excesivamente las aguas, y es de suponer que aplicarán las medidas necesarias para obligarlas a tratar las aguas cuando sea necesario. Sin embargo, incluso con un tratamiento muy completo de los desechos orgánicos, no se eliminarán del agua los sólidos disueltos en ella. No se dispone de informaciones sobre el grado de dilución necesario para impedir el aumento excesivo de la salinidad en el tramo inferior de un río que baña una ciudad cuya población podría llegar a 5 millones de habitantes. Por carecerse de mejores informaciones hemos usado un criterio sobre la calidad del agua que se basa en el oxígeno disuelto, con un grado de tratamiento que varía entre 0 y 90 por ciento de eliminación de la DOB (demanda de oxígeno biológico). Una de las medidas de las necesidades de agua que hemos empleado comprende el caudal necesario, después de mezclarlo con el líquido de descarga tratado, a fin de mantener un contenido de oxígeno disuelto en el río de 4 miligramos por litro, o sea aproximadamente cuatro partes de oxígeno por un millón de partes de agua. Cuando el agua cumple esta norma no es necesario, por lo general, someterla a un tratamiento especial en los puntos de toma, y mantendrá un nivel relativamente elevado de vida acuática. Al agregar todas las pérdidas a las necesidades de dilución, se supone implícitamente que la descarga del río en el mar será, por lo menos, igual al caudal de dilución de efluentes.

Las otras dos medidas de las necesidades de agua se han ideado para los casos en que el caudal de dilución es inferior a las necesidades brutas en cualquier punto o en un conjunto de puntos independientes ubicados en tal forma que en dichos lugares los usuarios no pueden emplear el agua vertida por otros usuarios cuyo consumo hemos considerado, o en el caso extremo, en que no se especifican caudales de dilución porque no se tiene en cuenta explícitamente la calidad del agua.

Al elaborar estas mediciones de las necesidades de agua, hemos considerado los siguientes usos: agricultura, manufactura, minería, energía termoeléctrica y usos municipales generales (domésticos, comerciales, cívicos y manufactura liviana). No se han tenido en cuenta los posibles usos en el río como la pesca, los usos del agua con fines de esparcimiento ni la energía hidroeléctrica.

Si se estudia un caudal de dilución de los efluentes en la medición de las "necesidades", implícitamente se considera el uso del agua para esparcimiento (comprendida la pesca) y alguna producción de energía. No se ha tenido en cuenta la energía hidroeléctrica como componente de las "necesidades" porque, excepción hecha de Rapel, las instalaciones se encuentran aguas arriba. Funcionarios de la Empresa Nacional de Electricidad S. A. (ENDESA) estiman que hasta ahora las instalaciones hidroeléctricas se han administrado en la forma que menos perjudica los demás usos. Es posible que ese tipo de problema se agudice, en especial a medida que aumente la producción de energía en plantas de caudales regulados y disminuya la producción en centrales de pasada en el curso superior de los ríos. No se puede determinar la magnitud de ese tipo de problema sin conocer la ubicación de las actividades en una región hidrológica e informaciones sobre el funcionamiento de la red eléctrica. Al dejar de lado la energía hidroeléctrica debe reconocerse que no se toman en cuenta posibilidades de obtener ingresos que podrían compensar total o parcialmente los costos de regulación. También debe reconocerse la posibilidad de subestimar el gasto total en capacidad de embalse.

Si todos los usuarios del agua, incluidos los sistemas municipales y los proyectos de riego, captaran y reutilizaran toda el agua que no se evapora, no se pierde por transpiración ni se incorpora en el producto, la entrada sería igual a lo que se denomina "pérdidas". 5/ Se supone que las minas y las centrales generadoras de energía termoeléctrica hacen recircular efectivamente el agua dulce que entra. Estén estas actividades situadas en el curso superior o inferior del río, se considera que sus necesidades se miden por las "pérdidas". Las actividades manufactureras -acerías, refinерías de petróleo, fábricas de papel y celulosa, etc.- hacen recircular el agua dulce. En este caso la cantidad de agua que entra es igual a las pérdidas. Cuando no se hace recircular el agua y el punto en que se usa se encuentra río abajo, el caudal necesario en el punto de uso en el tramo inferior es igual al agua extraída en ese punto, más las pérdidas aguas arriba. Dicho cálculo puede ser igual, superior o inferior al caudal necesario medido por las pérdidas más la dilución de efluentes.

Otra forma de calcular el caudal necesario basada en las necesidades de dilución sería suponer que las pérdidas aguas abajo pudieran compensarse con el caudal de dilución. En este caso el caudal necesario sería igual a las pérdidas aguas arriba (no las pérdidas totales) más el caudal de dilución de efluentes, siempre que este último fuera mayor que el agua extraída en el curso inferior del río. En términos cuantitativos, una necesidad expresada en esta forma no diferirá mucho, en la mayoría de las regiones, de las necesidades expresadas en función de las pérdidas totales más la dilución de efluentes.

No es necesario conocer la ubicación intrarregional de las actividades para el cómputo de las pérdidas totales mientras las "pérdidas" se limiten a la evapotranspiración, la incorporación en el producto y las pérdidas habituales atribuibles a deficiencias, etc. de los proyectos de riego. Sin embargo, cuando se distingue entre los puntos de descarga situados río arriba y río abajo hay que establecer la ubicación geográfica de cada actividad correspondiente a dichos puntos. En el caso de los usos municipales, la división se efectuó extrapolarando las tendencias demográficas. Las actividades manufactureras de las principales industrias que utilizan agua, excluidas las de productos alimenticios, son tan fáciles de ubicar que puede hacerse una distribución razonablemente exacta. En el caso de los productos alimenticios, la distribución de las actividades se basó en la de la población. (Véase el cuadro 1.)

No se hizo la distribución intrarregional de la minería y la generación de energía eléctrica a vapor porque:

- 1) las pérdidas son relativamente pequeñas;
- 2) la recirculación es relativamente fácil si el agua es escasa, y
- 3) el agua salada puede emplearse para el enfriamiento si el equipo de recirculación es demasiado caro.

De ahí que las necesidades correspondientes a esas funciones se midan por las pérdidas ocasionadas por la evaporación y transpiración, estén ubicadas aguas arriba o

---

5/ Las pérdidas de agua en la agricultura comprenden el agua absorbida por la tierra que, por alguna razón, no puede ser recuperada. Desde otro punto de vista, también se consideran pérdidas todas las aguas que se vierten en masas de agua saladas o salobres.

Cuadro 1

## DISTRIBUCION PRESUNTA DE LA POBLACION FABRIL Y URBANA ENTRE LOS PUNTOS DE USO DEL AGUA RIO ARRIBA Y RIO ABAJO

	Actividad fabril total, salvo alimentos y bebidas		Distribución porcentual de la población urbana y de la población ocupada en manufacturá de alimentos y bebidas	
	Costa	Interior	Costa	Interior
Tarapacá	x		88	12
Antofagasta	x		58	42
Atacama		x	14	86
Coquimbo	x		50	50
Aconcagua		x	3	97
Valparaíso	x		70	30
Santiago		x	2	98
O'Higgins		x	0	100
Colchagua		x	4	96
Curicó		x	1	99
Talca		x	0	100
Maule	x		30	70
Linares		x	0	100
Ñuble		x	1	99
Concepción	x		94	6
Arauco	x		39	61
Bío-Bío		x	0	100
Malleco		x	0	100
Cautín		x	2	98
Valdivia	x		58	42
Osorno		x	0	100
Llanquihue	x		70	30
Chiloé	x		85	15
Aysén	x		100	0
Magallanes	x		100	0

aguas abajo. Además, no son contaminadas por sustancias orgánicas, degradables, para las cuales se requiere un caudal de dilución. Cuando existe el problema de la contaminación, como en el caso de la eliminación de efluentes ácidos, el agua portadora de los desechos suele verterse en una laguna, y las necesidades de agua figuran como pérdidas por evaporación.

No fue fácil dividir las necesidades de la agricultura entre el "curso superior del río" y el "curso inferior del río", y hubo que emplear el censo agrícola de 1955, que indicaba la superficie regada de las comunas. Las comunas se clasificaron a ojo entre aguas arriba o aguas abajo, empleando un mapa. Se supuso que la distribución correspondiente a 1955 se mantendría hasta 1985. En el modelo básico se consideró que las necesidades de la agricultura serían iguales al "uso neto" aguas arriba más "el uso bruto" aguas abajo. La distribución de la superficie regada entre los puntos situados aguas arriba y aguas abajo figura en el cuadro 2.

La razón para definir las "necesidades de agua" de distintas maneras reside en que no existe una política o tendencias bien definidas, especialmente en cuanto a la

Cuadro 2

DISTRIBUCION PORCENTUAL DE LA SUPERFICIE REGADA ENTRE LOS PUNTOS  
SITUADOS AGUAS ARRIBA Y AGUAS ABAJO

	Aguas abajo	Aguas arriba
Tarapacá	50	50
Antofagasta	0	100
Atacama	12	88
Coquimbo	19	81
Aconcagua	14	86
Valparaíso	10	90
Aconcagua-Valparaíso	12	88
Santiago	2	98
O'Higgins	0	100
Colchagua	1	99
O'Higgins-Colchagua	0.5	99.5
Curicó	3	97
Talca	1	99
Maule	100	0
Linares	0	100
Curicó-Linares	6	94
Ñuble	0	100
Concepción	3	97
Arauco	100	0
Bío-Bío	0	100
Malleco	0	100
Cautín	0	100
Concepción-Cautín	4	96

Fuente: Basado en la distribución de la superficie regada por comunas según el censo agrícola de 1955.

calidad del agua y a los usos en el río. <sup>6/</sup> Tampoco hay información sobre la calidad de la pesca en los estuarios y en el interior. Es imposible determinar si la despreocupación quiere decir que la pesca no corre peligro, que el deterioro de la calidad en el futuro no se ha puesto en conocimiento de quien corresponda, que el deterioro se acepta sin protesta o que se ha determinado que los costos de impedir el deterioro son mayores que los beneficios. Se observa mayor preocupación por la contaminación de las aguas atribuibles a la descarga de aguas servidas no tratadas. Se formula la advertencia de no comer verduras crudas. En las cajas en que se venden frutillas en los supermercados se indica que en su cultivo se emplea agua no contaminada. Estos comentarios no se refieren, por supuesto, al agua distribuida desde plantas de tratamiento. Se proyectan tales plantas para todas las comunidades de 1 000 habitantes o más. <sup>7/</sup>

<sup>6/</sup> No se ha tenido en cuenta el posible aumento de las pérdidas de agua atribuibles a las prácticas de conservación de suelos y a la reforestación.

<sup>7/</sup> Se ha indicado que el agua corriente de las ciudades se contamina por infiltración de agua subterránea en épocas de poca presión. El autor no pudo confirmar ni desmentir esta afirmación.

## Proyecciones demográficas y del producto nacional bruto

La proyección de los usos del agua depende de la producción de bienes y servicios relacionados con ella. Se calcula la producción futura suponiendo que estará determinada por los cambios en la demanda, modificados por las variaciones previstas de las importaciones y las exportaciones, y que las alteraciones de la demanda serán determinadas por los cambios en el tamaño y el ingreso de la población. Se supuso que las fluctuaciones del ingreso se medirían por los cambios en el producto nacional bruto. (Véase el cuadro 3.)

Cuadro 3

### PROYECCIONES DEL PRODUCTO NACIONAL BRUTO Y DE LA POBLACION PARA 1985

PRODUCTO NACIONAL BRUTO		
(Millones de escudos de 1960)		
	Proyección A (3.75%)	Proyección B (5.5%)
1963		4 645
1965		4 998
1985	10 436	14 579

POBLACION		
(Miles de personas)		
	Total	Urbana
1965	8 601	5 028
1985		
Inferior (2.2%)	13 289	10 365
Media (2.43%)	13 902	10 844
Superior (2.6%)	14 372	11 210

Empleamos dos tasas de crecimiento anual del producto nacional bruto. La tasa inferior, 3.75 por ciento, corresponde al promedio de la tasa durante 1940-63. La tasa superior, 5.5 por ciento, es la utilizada en la planificación corriente del gobierno. Las proyecciones de la demanda de los productos agrícolas y manufactureros se hicieron depender del crecimiento del producto nacional bruto (PNB). Las proyecciones de la minería se hicieron en dos niveles sin tener en cuenta los cambios demográficos y del ingreso, pues la demanda interna no influye apreciablemente en la producción de la mayoría de los minerales de Chile. No se examinaron los efectos de la producción minera sobre el PNB. La generación de energía eléctrica a vapor se proyectó a base de los planes de la Empresa Nacional de Electricidad S. A. (ENDESA). La mayor parte de la energía que se generará es hidroeléctrica; previéndose que las centrales termoeléctricas atenderán una proporción relativamente pequeña de la demanda futura.

Se adoptó una tasa de 2.43 por ciento para la elaboración de modelos detallados

Cuadro 4

## PROYECCIONES DE POBLACION, A UNA TASA MEDIA DE CRECIMIENTO PARA 1985

(Miles de personas)

	Total	Urbana	Rural
Tarapacá	236.3	227.7	8.6
Antofagasta	458.8	444.6	14.2
Atacama	208.5	184.3	24.2
Coquimbo	542.2	347.0	195.2
Aconcagua	236.3	173.5	62.8
Valparaíso	1 167.8	1 051.9	115.9
Santiago	4 991.0	4 912.3	78.7
O'Higgins	458.8	292.8	166.0
Colchagua	278.0	108.4	169.6
Curicó	180.7	97.6	83.1
Talca	375.4	195.2	180.2
Maule	139.0	65.1	73.9
Linares	292.0	130.1	161.9
Ñuble	486.6	238.6	248.0
Concepción	1 070.5	976.0	94.5
Arauco	166.8	65.1	101.7
Bío-Bío	305.9	141.0	164.9
Malleco	292.0	151.8	140.2
Cautín	625.6	281.9	343.7
Valdivia	472.7	249.4	223.3
Osorno	278.0	141.0	137.0
Llanquihue	319.8	162.7	157.1
Chiloé	111.2	43.4	67.8
Aysén	83.4	43.2	40.2
Magallanes	125.1	119.3	5.8
<b>Total</b>	<b>13 902.4</b>	<b>10 843.9</b>	<b>3 058.5</b>

de crecimiento demográfico.<sup>8/</sup> Este porcentaje corresponde a una tasa media. Se hicieron comparaciones resumidas aplicando una tasa inferior (2.2 por ciento) y otra superior (2.6 por ciento).

La población urbana en 1985 se calculó proyectando los porcentajes de Sadie, basándose en el supuesto de que la declinación porcentual de la población rural sería igual en el decenio 1975-85 que en el quinquenio 1970-75, es decir, 9 por ciento. Así se obtuvo una población urbana para 1985 igual al 78 por ciento del total. A partir de la población total de 13 902 400 y urbana de 10 843 900 se distribuyó la población total y urbana entre las provincias de acuerdo con el porcentaje histórico (1940, 1952 y 1960)

<sup>8/</sup> Estimaciones de la Universidad Católica. Esta cifra coincide en forma bastante ajustada con una proyección hasta 1985 preparada por el profesor Sadie empleando las tasas de supervivencia de las cohortes. Johannes L. Sadie, Población y mano de obra en Chile, 1930-1975, Centro Latinoamericano de Demografía (CELADE) Santiago, 1964.

Cuadro 5

COMPARACION DE DIVERSOS VALORES, A BASE DE DISTINTAS TASAS DE CRECIMIENTO, DE LA POBLACION, EL PRODUCTO NACIONAL BRUTO Y ALGUNAS INDUSTRIAS EN 1985

	Indice (B promedio = 100)					
	Proyección A			Proyección B		
	Inferior	Media	Superior	Inferior	Media	Superior
Producto Nacional Bruto	72	72	72	100	100	100
Población	96	100	103	96	100	103
Manufactura:						
Alimentos	74	77	80	97	100	104
Papel y celulosa	58	62	63	96	100	104
Refinación de Petróleo	55	57	59	94	100	102
Acero	63	67	68	96	100	104
Agricultura	82	86	89	96	100	104

que representa cada provincia en el total. Se aplicó la regla general de sumar o restar del porcentaje correspondiente a 1960 la mitad del cambio porcentual en la población total de la provincia entre 1940 y 1960. De tal modo se siguió una tendencia, aunque grandemente moderada. En varios casos las cifras correspondientes al pasado no parecían plausibles o los resultados para el futuro parecían ilógicos y se modificaron en forma intuitiva. Los resultados finales fueron conciliados al 100 por ciento. <sup>9/</sup>

Se aplicó la tasa media de crecimiento demográfico (2.43 por ciento) y la tasa superior de crecimiento del PNB (5.5 por ciento) para los modelos elaborados con mayor detalle. Se hicieron proyecciones menos detalladas aplicando la tasa media de crecimiento demográfico y la tasa inferior de crecimiento del PNB. Se denominaron "A" aquellas proyecciones en las que empleó la tasa inferior de crecimiento del PNB y "B" aquellas otras en las que se usó la tasa superior. La proyección "A media" se refiere a la combinación de 2.43 por ciento para la población y 3.75 por ciento para el PNB. La proyección "B media" se refiere a las tasas de crecimiento de 2.43 por ciento y 5.5 por ciento para la población y el PNB, respectivamente. La combinación de una tasa reducida de crecimiento demográfico con cada una de las dos tasas de crecimiento del PNB son denominadas la proyección "A inferior" y "B inferior", respectivamente. Asimismo existen las proyecciones "A superior" y "B superior".

Los efectos de las diversas combinaciones de tasas demográficas y de crecimiento del PNB se han resumido en el cuadro 5 en forma de números índices en los que la proyección "B media" equivale a 100. Los índices de demanda de manufacturas y de la agricultura contienen un coeficiente de elasticidad-ingreso.

<sup>9/</sup> Las estimaciones de los usos municipales del agua que se incorporaron en nuestra medida de las necesidades se basaron en una distribución levemente distinta y en una mayor población urbana en comparación con las cifras indicadas en el cuadro 4. Por ese motivo la sobrestimación asciende a más o menos 10 por ciento para el país en conjunto y a 20 por ciento para la provincia de Santiago. La disminución de las pérdidas municipales en 20 por ciento reduciría las pérdidas totales en la provincia de Santiago en 0.8 por ciento.

## Resumen de los resultados

Si se comparan el abastecimiento total de agua del país y las necesidades proyectadas de agua, medidas ambas como un determinado caudal regulado, no se prevé escasez de agua. Ni siquiera se la prevé si sólo se compara el total de las necesidades y del abastecimiento de las provincias situadas al norte del archipiélago, no obstante que dichas necesidades ascienden al 99.7 por ciento del total del país (en 1985), en tanto que el abastecimiento (caudal medio) no representa sino el 40 por ciento del total nacional. Las necesidades proyectadas (1985, B media) correspondientes a todas las provincias situadas entre Llanquihue y la frontera norte oscilan entre 31 000 y 34 000 millones de metros cúbicos anuales, según la alternativa que se use para medir las necesidades, en tanto que el caudal medio de la misma región es de aproximadamente 176 000 millones de metros cúbicos por año. (El caudal medio de las tres provincias al sur de Llanquihue asciende a unos 269 000 millones de metros cúbicos, mientras que las necesidades proyectadas para 1985 oscilan entre 46 y 103 millones de metros cúbicos.)

Las pérdidas por evapotranspiración constituyen la principal necesidad proyectada. De estas pérdidas, el 98.5 por ciento consisten en usos agrícolas (riego). Las pérdidas municipales representan el 1 por ciento, y la minería, la manufactura y la generación de energía eléctrica de vapor representan en total el restante 0.5 por ciento. Cambios relativamente grandes en los usos no agrícolas del agua tendrán efectos relativamente pequeños en el cuadro total del agua, no obstante que ciertas condiciones locales, sobre todo en el norte, resultarán afectadas en los usos no agrícolas.

Tomando el país desde la provincia de Cautín hasta la frontera septentrional, hay relativamente poca diferencia entre las necesidades de agua medidas según cualquiera de las diversas alternativas que se han usado. La cantidad más baja, 30 400 millones de metros cúbicos por año, cubre únicamente pérdidas de evaporación y transpiración. La cantidad más elevada, 34 100 millones de metros cúbicos anuales, cubre las pérdidas de evaporación y transformación y prevé la dilución de efluentes después de eliminar por tratamiento el 90 por ciento de las materias orgánicas degradables. El cómputo de la dilución se hace en forma que se obtengan 4 miligramos por litro de oxígeno disuelto en la corriente después de mezclarse el efluente con el agua de dilución de alta calidad.

Las necesidades anuales según las varias mediciones usadas son (de Cautín al norte):

	<u>Miles de millones de metros cúbicos/año</u>
Pérdidas por evaporación-transpiración	30.4
Caso I: Pérdidas por evaporación-transpiración más uso municipal y agrícola río abajo	31.3
Caso II: Caso I más agua captada por la minería en lugar de sus pérdidas por evaporación	31.6
Caso III: Pérdidas por evaporación-transpiración aguas arriba; todos los usos aguas abajo	32.7



Pérdidas por evaporación-transpiración más dilución de desechos para dar 4 mg/l de oxígeno disuelto en la corriente después de eliminar el 90 por ciento de los desechos orgánicos. <sup>10/</sup>

34.1

Si la calidad del agua pasase a tener importancia y si el tratamiento no alcanzase a eliminar el 90 por ciento de las sustancias que demandan oxígeno bioquímico (DOB), las necesidades de agua para la misma región (Cautín al norte) podrían elevarse grandemente. Con tratamiento nulo, el total de los caudales necesarios sería de 61 700 millones de metros cúbicos por año para lograr la meta de 4 mg/l de oxígeno disuelto. Con tratamiento primario (eliminación del 35 por ciento de la DOB), los caudales necesarios serían de 50 800 millones de metros cúbicos. Los caudales estimados que se necesitarían, por lo tanto, parecen responder más a las decisiones sobre calidad del agua y tratamiento de desechos que a las decisiones sobre recirculación en las cuencas inferiores de los ríos.

El cuadro cambia si concentramos al análisis en la mitad septentrional del país (la provincia de Santiago y todas las demás hacia el norte). En vez de proyectar un abastecimiento suficiente de agua con mucho exceso de capacidad, los resultados de nuestros cálculos indican una aguda escasez. Si se usan las necesidades del caso I (es decir, uso municipal y agrícola aguas abajo más pérdidas por evaporación-transpiración por todos los demás usos), nuestras estimaciones indican un caudal anual requerido de 8 800 millones de metros cúbicos, pero un caudal medio disponible de 6 200 millones de metros cúbicos. Esto significa que si se lleva la regulación al máximo grado posible, el abastecimiento sería 30 por ciento inferior a las necesidades.

La disparidad entre el caudal requerido y los caudales disponibles es mayor cuando es menor la recirculación, como en los casos II y III, y cuando existe la necesidad de mantener un caudal de agua con dilución de muy buena calidad, fuera de las pérdidas proyectadas de evapotranspiración. La disparidad se acentúa aun más si se tienen en cuenta los costos de regular el caudal fijando un límite superior a los gastos por unidad de corriente regulada.

Es razonable suponer que toda restricción en el abastecimiento de agua será sentida primero por la agricultura. Para 1985 se supuso que la aplicación de agua por hectárea de tierra reflejaba un mejoramiento tal sobre las tasas actuales de uso de agua que no cabría esperar ninguna nueva economía en este uso del agua. Por tal razón, las restricciones en el abastecimiento de agua seguramente significarán una restricción paralela, más o menos, en la superficie regada. La estimación de la tierra regable situada entre la provincia de Santiago, inclusive, y el norte del país, es de unas 566 000 hectáreas. Si toda el agua completamente regulada de que se dispone se usase para riego, se podrían cultivar unas 403 000 hectáreas. Si primero se atendiesen plenamente las otras necesidades fuera de la agricultura, esta superficie quedaría reducida a 373 000 hectáreas (estimaciones ambas basadas en el caso I). Comparando la producción agrícola total proyectada, habida cuenta de la restricción impuesta por el agua, con las necesi-

---

<sup>10/</sup> Solamente requieren dilución los desechos recibidos aguas arriba.

dades agrícolas proyectadas en función del crecimiento de la población, las necesidades de alimentos y la restricción prevista en las importaciones a un nivel conforme con la experiencia actual, se halla que el producto por hectárea tendría que duplicarse con creces. Tal mejoramiento parece posible. Falta saber si se tomarán las medidas necesarias para conseguirlo.

Hay pocas razones para temer que no puedan satisfacerse las necesidades proyectadas fuera del sector agrícola, siempre que se tomen medidas razonables para regular el caudal de las aguas y para hacer recircular el agua usada en la minería, la energía y las fábricas.

La regulación de los ríos, basándose en el almacenamiento de superficie, entraña un costo de capital, pero los costos futuros estimados no parecen excesivos, salvo que se quisiera llevar la regulación al límite físico teórico. Si el costo anual por cada millón de metros cúbicos de caudal seguro durante el 85 por ciento del tiempo es igual a 8 900 escudos en la provincia de Santiago (a precios de 1964, lo que equivale a 3.42 dólares por acre-pie al tipo oficial de cambio de 1964), y menor en otras partes en diferentes proporciones, y si todas las necesidades, aparte el sector agrícola, se satisfacen antes de asignar agua a la agricultura, la superficie irrigada en las provincias del norte sería de unas 311 500 hectáreas. Los costos anuales totales de la regulación serían aproximadamente de 37.5 millones de escudos. Si se atendiesen los usos no agrícolas regulando el caudal por encima del límite de 8 900 escudos anuales por millón de metros cúbicos, pero la agricultura siguiese delimitada por este valor, la superficie irrigada sería aproximadamente 343 000 hectáreas y los costos anuales totales aproximadamente 47.2 millones de escudos.

La expansión de la superficie irrigada de 311 500 a 343 000 hectáreas en las provincias del norte (en las provincias al sur de Santiago no existe problema alguno, pues todas las necesidades proyectadas pueden satisfacerse a costos marginales relativamente bajos regulando el caudal) costaría aproximadamente 10 millones de escudos por año. En comparación con los precios actualmente imperantes en Santiago para los productos agrícolas y el agua, no parece justificarse tal ampliación de la regulación para 1985. El costo marginal del agua que tal ampliación representaría se aproximaría a 333 escudos anuales por hectárea (lo que equivale a 100 dólares al tipo de cambio de 1964, o sea 45.45 dólares por acre), o casi 14 escudos por quintal métrico de trigo (o equivalente de trigo) para el agua solamente, en comparación con un precio de mayorista en 1964 de aproximadamente 21 escudos para el trigo.

Para el conjunto de Chile, los gastos acumulados de capital para regular el caudal hasta el total de la capacidad del río o hasta el nivel de la demanda proyectada para 1985 -según cual sea el menor- se estima en 1 000 millones de escudos (a precios de 1964). El costo anual equivalente sería de 84 millones de escudos. Una limitación de costo marginal en la que las necesidades agrícolas sólo se satisfagan después de las no agrícolas, reduciría los costos de capital en unos 569 millones de escudos (56 por ciento). Visto a la inversa, el costo de alcanzar el límite físico, que sólo significaría más agricultura, representaría un costo adicional muy elevado por unidad de producción (aproximadamente 31 escudos por quintal de trigo o equivalente).

La investigación dejó en descubierto varias cuestiones laterales que se examinaron brevemente. Una estaba relacionada con la experiencia del gobierno chileno en la finan-

ciación de proyectos de riego. Sin comparaciones más detalladas no se puede determinar si la experiencia de Chile es mejor o peor que la de otros gobiernos en materia de selección de proyectos. Lo que sí resulta claro es que las disposiciones financieras contempladas en la legislación han sufrido el desgaste de la inflación. Otra cuestión lateral, de gran importancia para la planificación y el progreso económico de Chile, es el aumento implícito en la productividad por hectárea que guarde consonancia con la tierra disponible y con las metas chilenas de producción agrícola. Concluir que la producción por hectárea habrá de duplicarse con creces entre esta fecha y 1985 es reconocer la necesidad de acometer un esfuerzo tecnológico específico, sobre todo si se tienen en cuenta las dificultades de balance de pagos experimentadas en los últimos años. Lo que podría llamarse una política agrícola óptima, expresada en términos de producción interna, exportaciones e importaciones, no se había formulado al tiempo de redactar este estudio. Un modelo agrícola interregional constituiría una contribución de gran importancia para el conjunto de herramientas que Chile puede usar al planificar los recursos de agua.

Pasando de la regulación de caudales para satisfacer las necesidades de evapotranspiración a la cuestión de la calidad del agua, deben tenerse en cuenta tres consideraciones: 1) la calidad del agua, 2) el nivel del tratamiento de desechos y 3) la cantidad de agua de buena calidad que se mezcla con el efluente de las plantas que tratan el agua. Estos tres factores deben relacionarse entre sí como corresponda. Por ejemplo, un bajo nivel de tratamiento y un grueso caudal de dilución puede servir para obtener en el río la misma calidad que se obtendría con un nivel mayor de tratamiento y un caudal menor de dilución. Con funciones dadas de costo para caudales determinados y grados determinados de tratamiento de desechos, existirá una combinación que reduzca al mínimo el costo total en cada cuenca para un nivel dado de calidad. En una cuenca determinada, la amplitud de las posibilidades puede verse limitada por la escasez del agua; en los casos en que el abastecimiento sea pequeño, el nivel de tratamiento quizá tenga que ser elevado a fin de alcanzar una calidad dada con una producción dada de bienes y servicios que originan desechos.

Aunque falta información acerca de la incidencia de la contaminación, de los costos de reducirla y de las relaciones entre los niveles de tratamiento y los caudales necesarios de dilución, se hicieron estimaciones utilizando coeficientes de los Estados Unidos. Los costos anuales de tratamiento se estimaron en 42.6 millones de escudos. Se supuso que los caudales adicionales necesarios para la dilución se usaban aguas abajo para riego, en cuyo caso los caudales de dilución podrían regar unas 25 000 hectáreas más, en vez de perderse estérilmente en el mar. El costo adicional de regular el río, por encima de los costos del caso I, con la limitación de costo marginal y la agricultura en situación residual, se estimó en 15.5 millones de escudos anuales. Los costos anuales totales para mantener la calidad, basándose en una calidad normal en el río de 4 mg/l de oxígeno disuelto, eran, por lo tanto, aproximadamente 58.1 millones de escudos. Si se tienen en cuenta también la inversión en los sistemas municipales de eliminación, los costos del tratamiento, la eliminación misma y el caudal adicional, se llega a un gasto anual de 74.5 millones de escudos para todo el país. Los costos estimados de mantener la calidad -tratamiento, eliminación municipal y caudal adicional para impedir la dilución- representaron aproximadamente el doble de los costos de regulación del caudal dentro de los límites obligados del costo marginal con agricultura residual. De los gastos de mantenimiento de la calidad, los costos anuales de eliminación, que ascienden aproximadamente a 16 millones de escudos, no se pueden economizar sin graves conse-

cuencias sanitarias. Los 58 millones de escudos restantes se pueden evitar total o parcialmente aceptando un nivel medio inferior de calidad en el río o trasladando algunas poblaciones y actividades de regiones en que el agua debe recibir mucho tratamiento y regulación a elevado costo marginal, a otras en las que los caudales naturales mínimos sean tan altos que se pueda mantener la calidad con poco tratamiento y con poca o ninguna regulación adicional.

¿A qué conclusiones se llega comparando los gastos proyectados con las tasas recientes de inversión para bienes de capital? En 1964, a precios de 1961, la inversión fija bruta a precios del mercado era de 75 millones de escudos.<sup>11/</sup> A precios de 1964 esto equivaldría a unos 1 785 millones de escudos. Si los ríos se regulasen según la limitación de costo marginal, con la agricultura como residuo, los costos serían de 37.5 millones de escudos (a precios de 1964). Si, además, se aspirase a una calidad de 4 mg/l de oxígeno disuelto, los costos anuales totales llegarían a unos 112 millones de escudos, es decir, aproximadamente el 6 por ciento del nivel de inversión de 1964. Sin embargo, como los costos anuales estimados corresponden al nivel de inversión requerida para las condiciones supuestas de 1985, los gastos requeridos en materia de agua deberían compararse con la inversión prevista para 1985. Si la inversión bruta crece a igual tasa que las proyecciones "Media B" del PNB (5.5 por ciento anual), para 1985 la inversión anual bruta a precios constantes sería de unos 5 400 millones de escudos, es decir, tres veces la cifra de 1964. Los equivalentes anuales del costo de capital para el desarrollo de los recursos hidráulicos ascenderían entonces aproximadamente a 2 por ciento del presupuesto de inversión bruta. Estos costos no incluyen el tratamiento municipal, los costos de suministro, las tuberías para llevar el agua a grandes distancias, los costos de uso del agua en la manufactura, los costos de suministro de agua a y en los predios, etc., en los que habría que incurrir en todo caso. No contándose con un modelo de inversión, no es posible llegar a una conclusión firme acerca de la carga general que impondrá la inversión en los recursos hidráulicos. Sin embargo, no hay por qué suponer que sería intolerablemente elevada.

#### Cuestiones no tratadas<sup>12/</sup>

En el resumen anterior se pasan por alto varias cuestiones importantes. Ya se aludió a la necesidad de un modelo interregional de producción agrícola. Entre otros asuntos tratados en forma insuficiente en este estudio están el abastecimiento y uso del agua subterránea, las necesidades de almacenamiento para energía hidroeléctrica y pérdidas adicionales de evaporación, los posibles efectos tanto de la producción de energía nuclear como de la desalinización del agua del mar o de las aguas salobres del interior, los cambios institucionales de orden jurídico-económico, los costos de capital en las ciudades para el tratamiento y la distribución, los costos de transvasar el agua a

---

<sup>11/</sup> Boletín Estadístico de América Latina (CEPAL), vol. III, n° 1 (febrero de 1966). Los precios subieron aproximadamente 2.4 veces entre 1961 y mediados de 1964, basándose en un índice extraoficial de precios de consumo. El índice de precios de consumo y el de mayoristas tendieron a cambiar juntos.

<sup>12/</sup> Esta sección se basa en gran parte en comentarios hechos por los señores Adolfo Dorfman, jefe del Programa de Recursos Naturales y Energía de la Comisión Económica para América Latina, y Blair Bower, investigador asociado de "Recursos para el Futuro".

cuencas distintas, múltiples cuestiones financieras como el tipo correcto de interés para computar los costos y beneficios, la incidencia de los costos, las comparaciones de beneficio-costos y las ventajas de efectuar gastos en proyectos de recursos hidráulicos en comparación con otras actividades.

El agua subterránea no se puede incorporar sistemáticamente en un estudio de desarrollo de recursos hidráulicos mientras no se sepa más acerca de su ubicación y su comportamiento. Hemos partido de suponer que las mediciones de agua de superficie incluyen aportaciones de agua subterránea, hipótesis razonable para cuencas relativamente grandes pero no siempre para cuencas pequeñas. Como se aceptó esta hipótesis, no se consideró la posibilidad de almacenar agua en acuíferos como alternativa al almacenamiento de superficie ni la de retirar agua subterránea en exceso a la tasa de recuperación. Si se pudiese almacenar el agua subterráneamente, las pérdidas por evaporación serían inferiores a lo que se ha supuesto. Si se pudiese extraer el agua subterránea en diversas cuencas del norte del país, sería menor la disparidad de corto plazo entre las necesidades proyectadas y los suministros proyectados. El almacenamiento subterráneo en lugar del almacenamiento de superficie podría afectar los costos estimados de regulación del caudal. También se pasó por alto la posibilidad de construir reservorios subterráneos artificiales mediante explosivos nucleares.

Aunque por ahora parece reducida la viabilidad económica de trasvases en gran escala de unas cuencas a otras, hay poca información para llegar a una conclusión firme. Tampoco se sabe mucho sobre otros métodos de aumentar el abastecimiento. Cuando fue preparado este estudio, la empresa de electricidad del gobierno de Chile, ENDESA, estaba estudiando la posibilidad de usar energía nuclear para producir energía y desalinizar el agua de mar. Cuando se cuente con datos sobre los costos de desalinizar el agua (que por ahora serían seguramente elevados), sobre la posibilidad de transferir a la agricultura el agua que ahora se destina a usos no agrícolas y sobre el sitio que ha de ocupar en el porvenir la agricultura de las provincias septentrionales en el esquema nacional, se comprenderá mejor el sitio que corresponderá a la desalinización. De momento no hay razón para esperar que aumenten sustancialmente los suministros de esa fuente, pero como la tecnología puede cambiar en los próximos años, mal se puede llegar a una conclusión dogmática. Lo más probable es que la ENDESA y otras entidades chilenas prosigan sus estudios sobre las posibles aplicaciones de energía nuclear, aunque no se construyan plantas de energía o de desalinización en el futuro inmediato.

Hay varias cuestiones, interesantes y amplias, que, en relación con la planificación de los recursos hidráulicos nacionales, demandan la atención de los expertos en las esferas económica, jurídica, política y social. La metamorfosis de Chile, que de economía rural se transforma en economía urbana, provocará cambios en la tenencia de la tierra y en las leyes sobre derechos de riego y una intensa competencia en demanda de capital. Cada uno de estos cambios afectará la viabilidad económica, así como las características físicas de la oferta y la demanda de agua. Hasta cierto punto, se tuvieron en cuenta estos cambios en las hipótesis utilizadas para preparar las proyecciones de oferta y demanda de agua, pero quedaron sin ver varios aspectos. Así, por ejemplo, los coeficientes de riego que se basan en un nivel de eficiencia que implícitamente se supone superior en el uso del agua, pueden no llegar a realizarse si no cambian las condiciones de propiedad y usufructo del agua, si no se facilita fondos a los terratenientes para que efectúen las necesarias mejoras de capital y si no se explotan plenamente, dentro de los límites económicos, las demás técnicas posibles para elevar la

producción agrícola. Habrán de resolverse las cuestiones relacionadas con la fijación implícita o explícita de los precios del agua, así como con la facilidad de transferir el agua de un uso a otro. Tampoco es posible determinar los beneficios que rendiría el dólar marginal gastado en otros usos estudiando solamente los recursos de agua, ni -dadas las características especiales que en Chile imprimen al mercado de capitales la inflación, el tipo de interés controlado y las limitaciones crediticias del sistema bancario-, sin estudiar antes la corriente de los fondos de inversión frente a los procesos del mercado.

Los expertos chilenos y de las Naciones Unidas conocen bien estos temas y se está tratando de llenar algunas de las lagunas. Sería vano pretender anticipar el resultado de las investigaciones que se están realizando o las recomendaciones que pueden surgir de ellas.

## Capítulo III

# ESTIMACION DE LAS NECESIDADES DE AGUA POR SECTORES EN 1985

El presente capítulo reproduce en la forma más resumida posible el cálculo de los requerimientos de agua por los diversos sectores consumidores previstos para 1985. Se dan en él el método seguido, las principales hipótesis básicas y los parámetros utilizados (tasas unitarias de consumo, proyección de la actividad económica consumidora de agua, sudistribución por regiones, etc.). Tal es el objetivo principal de los capítulos IV a X de la obra original.

Nótese que las informaciones aquí resumidas no son las únicas de importancia que contienen los capítulos respectivos, de la obra de Wollman. Quien desee una justificación de las bases de cálculo la encontrará con detalle en dicha obra. Es recomendable referirse a ella antes de emitir juicios sobre estas cifras, pues para llegar a las mismas se debieron hacer muchos razonamientos, juicios de valor, transferencia de informaciones similares de otras fuentes, etc., que no se reproducen aquí.

De interés para el conocimiento de la realidad chilena son las consideraciones sobre la situación general y las perspectivas de los principales sectores consumidores de agua que se incluyen en los capítulos de la obra completa. Tales consideraciones ayudarán también a apreciar en términos generales la metodología utilizada en las proyecciones de cada uno de estos sectores, principalmente por lo que se refiere al sector agropecuario. La importancia relativa de este sector en cuanto al consumo de agua hizo necesaria una mayor dedicación a su estudio, tarea nada fácil porque la base estadística es insuficiente y en muchos casos contradictoria, todo lo cual está ampliamente comentado en los capítulos IV, V y VI de la obra extractada.

### AGRICULTURA

Las estimaciones del agua que utiliza la agricultura se basan en los supuestos siguientes:

- a) La producción agrícola reflejará los cambios en la demanda interna y los cambios en la política de importación.
- b) La producción de las tierras con y sin riego tendrá una participación proporcional en cualquier cambio proyectado de la producción, con sujeción a las limitaciones de la tierra y el agua.
- c) En primer término se satisfarán los aumentos de la demanda mediante el aprovechamiento de nuevas tierras disponibles; si los recursos de tierra y agua son limitados, se enjugarán los déficit proyectados de la nueva producción aumentando el rendimiento por hectárea.

En lo que respecta a la demanda de productos agrícolas, hay motivos para creer que en las dos próximas décadas la demanda total habrá de duplicarse (un poco menos si el PNB crece a la tasa histórica y un poco más si crece conforme a los planes

actuales).<sup>1/</sup> Si la trayectoria del crecimiento se cumple a la tasa inferior seguirá habiendo deficiencia alimenticia en relación con las normas establecidas por la FAO, a menos que aumenten las importaciones por habitante. Sin embargo, uno de los objetivos de la planificación actual es eliminar la necesidad de importar los alimentos y fibras que pueden producirse en Chile: trigo, carne, aceites y otros productos de la zona templada.

Los cálculos sobre el aumento proyectado de la demanda, -basados en los efectos conjuntos de la elasticidad ingreso de la demanda, el aumento proyectado del ingreso familiar y los cambios demográficos- convertidos, producto por producto y provincia por provincia, en superficie de regadío necesaria,<sup>2/</sup> dieron como resultado una necesidad de 2.6 millones de hectáreas de regadío si el aumento del PNB se produce a la tasa inferior (3.75 por ciento) y 3 millones de hectáreas en el caso de la tasa más alta (5.5 por ciento), sin tomar en consideración la reducción de las importaciones ni la eliminación de las actuales deficiencias alimenticias. Sin embargo, no hay suficientes tierras ni bastante agua para que las zonas de regadío se expandan en proporción al aumento esperado y necesario de la producción. De ahí que se suponga, como primera aproximación a la demanda de agua para la agricultura, que toda la tierra regable tendrá riego en 1985.

Se ha tomado como medida de "toda la tierra regable" la superficie total de tres grupos de tierras clasificadas según sus aptitudes, considerando todas las provincias al norte de Cautín,<sup>3/</sup> a saber:

- a) Las tierras clasificadas Ir, IIr, IIIr y IVr, es decir, las que ya tienen riego con abastecimiento de agua relativamente seguro: aproximadamente 1.2 millones de hectáreas;
- b) Las tierras de las clases mixtas "con y sin riego": unas 700 000 hectáreas;
- c) Las tierras de las clases I, II, III (secas, arables): alrededor de 540 000 hectáreas.

La superficie total de estos grupos es de 2.5 millones de hectáreas. (Véase el cuadro 6.)

---

<sup>1/</sup> Alvaro Marfán J., Jefe de la Oficina Nacional de Planeamiento (ODEPLAN), ha advertido en comunicación privada que, al ignorarse la política del gobierno actual diseñada para mejorar la distribución del ingreso, se ha subestimado el crecimiento de la demanda para alimentos. Esta es una corrección pertinente, pero que no puede ser incorporada en la obra mientras no se cuente con mayor información. Su resultado sería aumentar aún más la eficiencia requerida en la producción agrícola o aumentar el nivel de importación de alimentos, porque, como se verá más adelante, el proyectado crecimiento del producto agrícola está cons- treñido por limitaciones en la tierra y el agua.

<sup>2/</sup> En el supuesto de que las tierras regadas aumentarían en igual proporción al aumento proyectado de la demanda de productos ahora producidos en tierras con riego, según estimaciones del Centro de Investigaciones Económicas de la Universidad Católica no publicadas aún.

<sup>3/</sup> A base del levantamiento aerofotogramétrico, según cuadros preparados por el Instituto de Investigación de Recursos Naturales. El levantamiento excluye las dos provincias más septentrionales, para las cuales se aceptaron estimaciones preparadas por otros organismos.



Cuadro 6

## TIERRAS REGABLES QUE NECESITAN RIEGO

Provincia	Hectáreas	Provincia	Hectáreas
Tarapacá	10 773	Curicó	88 644
Antofagasta	2 626	Talca	193 936
Atacama	27 288	Maule	31 378
Coquimbo	113 023	Linares	244 499
Aconcagua	63 092	Ñuble	260 415
Valparaíso	65 549	Concepción	65 956
Santiago	283 852	Arauco	29 187
O'Higgins	170 280	Bío-Bío	142 756
Colchagua	152 114	Malleco	259 140
		Cautín	302 921
<u>Total</u>			<u>2 507 429</u>

Cuadro 7

## TASA DE RIEGO

(Miles de metros cúbicos por hectárea y por año)

Cultivos	Tarapacá Antofagasta	Atacama Coquimbo	Aconcagua Linares	Ñuble Malleco	Cautín al sur
Cereales	6.0	5.5	5.0	2.3	-
Hortalizas	10.0	10.0	10.0	6.0	5.0
Frutas	12.0	10.0	9.0	8.9	5.0
Viñas	-	12.0	9.0	-	-
Pastos	15.0	12.0	11.0	8.5	5.0
Arroz	-	-	17.0	-	-

Fuente: Preparado por el Centro de Investigaciones Económicas de la Universidad Católica.

El aumento del área regada a 2.5 millones de hectáreas representará un incremento aproximado del 66 por ciento, que se producirá a costa de tierras ahora usadas para otros fines -principalmente pastos naturales o cultivos de secano- excepción hecha de las provincias más al norte en las que la tierra sin riego nada produce.

Las necesidades de agua de riego se computaron del siguiente modo: la llamada "tasa de riego" es la medida de las necesidades de agua en la cabeza del "campo" para seis clases de cultivos y cinco zonas. (Véase el cuadro 7.) Esta cifra no dio las "necesidades de derivación" ni el "consumo neto", pues se estimó que la tasa de riego excedía las necesidades de evapotranspiración de la planta en un 30 por ciento, pero no incluía las pérdidas en la finca hasta llegar al potrero ni las pérdidas ocurridas entre el lugar de almacenamiento o derivación y la finca. Para computar las necesidades netas y brutas se adoptó la técnica usada por el Departamento de Agricultura de los

Estados Unidos en la estimación de las futuras necesidades de agua para la agricultura de riego en California, <sup>4/</sup> a saber:

tasa + 1.3 = necesidades de la planta  
necesidad de la planta + 0.55 = agua necesaria para entregar a la finca agua necesaria para entregar a la fina + 0.55 = necesidad de derivación (necesidad de derivación - necesidad de la planta) + 2 = volumen de agua recuperada para su uso posterior  
necesidad de derivación - volumen de agua recuperada para uso posterior = pérdida neta

Cuadro 8

PORCENTAJE DE LA DISTRIBUCION DE TIERRAS REGADAS POR CLASES PRINCIPALES DE CULTIVOS <sup>a/</sup>

Cultivos	Tarapacá Antofagasta	Atacama Linares	Maule Bío-Bío	Arauco Malleco <sup>b/</sup>
Cereales	-	46.8	50.0	28.9
Hortalizas	25.0	5.6	2.9	20.7
Frutas	7.4	4.6	2.2	30.4
Viñas	-	5.6	0.8	-
Pastos artificiales	67.6	37.4	44.1	20.0

Fuente: Preparado por Maciej Zaleski con datos tomados del archivo de la CORFO.

<sup>a/</sup> Basado en la combinación de cultivos de 1958/59, después de eliminar los pastos naturales.

<sup>b/</sup> En la provincia de Cautín la tasa de riego fue de 5 000 m<sup>3</sup> anuales por hectárea para todos los cultivos. La división regional difiere ligeramente con respecto a la del cuadro 7, lo que no introduce un error significativo.

Aplicando estos cálculos a cada clase de cultivo y ponderando por la importancia relativa de su superficie de acuerdo con la producción estimada por la CORFO para 1958/59, <sup>5/</sup> fue posible computar las necesidades brutas y netas de agua por hectárea para cada zona. Se asignó esa cifra a todas las provincias de la zona respectiva.

Las necesidades totales de agua para la agricultura se computaron multiplicando la superficie regable por las necesidades de derivación y las necesidades netas por hectárea. (Véase el cuadro 9.)

<sup>4/</sup> Land and Water Potentials and Future Requirements for Water, Committee Print # 12, U. S. Senate Select Committee on National Water Resources, (Washington, 1960), pp. 17-18 y 67.

<sup>5/</sup> Véase el cuadro 8. Si los agricultores chilenos se esfuerzan por aumentar la producción, el uso de pastos naturales en regadíos se reduciría a una insignificancia, ya que su productividad es muy inferior a la de los pastos artificiales. La combinación de productos en 1958/59 se modificó eliminando la superficie en pastos naturales y dividiéndola en dos partes iguales, una para pastos artificiales y otra para todos los demás cultivos.

Cuadro 9

AGRICULTURA (RIEGO): NECESIDADES DE DERIVACION Y  
 PERDIDA NETA a/ POR SUPERFICIE REGABLE, 1985

(Miles de m<sup>3</sup> por año)

	Derivación	Pérdida neta
Tarapacá	370 591	241 315
Antofagasta	90 334	58 822
Atacama	586 692	382 032
Coquimbo	2 429 995	1 582 322
Aconcagua	1 356 478	883 288
Valparaíso	1 409 304	917 686
Santiago	6 102 818	3 973 928
O'Higgins	2 661 020	2 383 920
Colchagua	2 270 451	2 129 596
Curicó	1 905 846	1 241 016
Talca	4 169 624	2 715 104
Maule	426 741	279 264
Linares	5 256 729	3 422 986
Ñuble	3 541 644	2 317 694
Concepción	897 002	587 008
Arauco	461 155	300 626
Bío-Bío	1 941 482	1 270 528
Malleco	4 094 412	2 669 142
Cautín	3 786 513	2 483 952
<u>Total</u>	<u>45 758 831</u>	<u>29 840 229</u>

a/ Basado en la combinación de cultivos 1958/59 después de eliminar los pastos naturales.

Cuadro 10

NECESIDADES DE AGUA PARA EL GANADO, 1985

Provincia	M <sup>3</sup> /año	Provincia	M <sup>3</sup> /año
Tarapacá	781	Linares	} 4,065
Antofagasta	412	Ñuble	
Atacama	946	Concepción	
Coquimbo	8 031	Arauco	} 33 150
Aconcagua	5 214	Bío-Bío	
Valparaíso	9 345	Malleco	
Santiago	9 345	Cautín	} 28 739
O'Higgins	8 691	Valdivia	
Colchagua	8 691	Osorno	
Curicó		Llanquihue	} 4 652
Talca	13 312	Chiloé	
Maule		Aysén	
		Magallanes	
<u>Total</u>			<u>148 503</u>

Fuente: Centro de Investigaciones Económicas, Universidad Católica.

Además de las necesidades de agua para riego, se ha incluido una estimación de las necesidades de agua para el ganado.<sup>6/</sup> Dichas necesidades son muy pequeñas en comparación con las de riego. (Véase el cuadro 10.)

Se ha supuesto que el consumo de agua por el ganado es igual a la pérdida de agua, es decir, no se ha tenido en cuenta el caudal de retorno. Se admite, además, que el consumo por el ganado se distribuye en forma pareja a través de un año y no se ajusta al régimen estacional del riego.

Cuadro 11

DISTRIBUCION MENSUAL DE LAS NECESIDADES DE RIEGO

(Porcentajes del gasto anual)

Provincia	Enero	Fe- brero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sep- tiem- bre	Oc- tu- bre	No- viem- bre	Di- ciem- bre
Tarapacá	15.8	10.2	8.2	2.7	2.3	1.1	-	5.8	9.1	10.4	15.0	19.4
Antofagasta	15.1	9.3	7.4	4.3	4.2	2.8	-	5.6	9.1	10.3	13.9	18.0
Atacama	13.8	8.8	6.7	3.3	5.4	2.1	-	7.0	10.5	12.2	12.8	17.4
Coquimbo	13.6	8.8	6.4	3.9	5.4	0.8	-	7.4	11.3	12.7	12.9	16.8
Aconcagua-Valparaíso	14.8	12.6	7.8	4.5	0.5	0.1	-	5.6	9.1	12.9	17.3	14.8
Santiago	15.6	14.3	10.6	7.4	1.5	0.7	0.6	2.7	7.3	10.4	13.9	15.0
O'Higgins-Colchagua	12.6	18.4	16.7	7.5	6.1	-	-	-	1.8	7.1	12.7	17.1
Curicó-Linares	16.5	15.1	8.0	5.4	-	-	-	1.7	8.4	11.9	16.3	16.7
Ñuble	13.6	12.3	10.5	7.1	-	-	-	2.4	9.3	13.3	18.2	13.3
Concepción-Cautín	16.7	14.5	9.0	5.9	-	-	-	2.1	9.5	13.9	15.8	12.6

Fuente: Basso, Inventario de recursos hidrológicos superficiales de Chile, p. 52.

Dada la amplia variación en el uso del agua en las diversas estaciones y el hecho de que en algunas cuencas la variación natural del caudal coincidió con las necesidades, mientras que en otras adoptó una modalidad inversa, no pudo computarse directamente la cantidad necesaria para almacenamiento en función de los caudales mínimos. Se computaron las necesidades totales de agua por separado para cada mes, partiendo de la hipótesis de que las necesidades de agua para todos los usos menos el riego se repartían en forma pareja durante el año. La distribución estacional del agua usada para riego se indica en el cuadro 11.

MINERIA

En la industria minera predomina un número reducido de grandes productores y los principales minerales son el cobre y el salitre. A esto se agrega petróleo y gas en el extremo sur, carbón en la zona central, hierro y pequeñas cantidades de oro, manganeso, molibdeno, azufre, calcio.

<sup>6/</sup> Estimación preparada por el Centro de Investigaciones Económicas de la Universidad Católica.

Cuadro 12

## PRODUCCION DE COBRE Y NECESIDADES DE AGUA

Provincia	Producción (1 000 toneladas)		Necesidades de agua (1 000 m <sup>3</sup> /año) <u>a/</u>	
	1963	1985	1963	1985
Tarapacá	<u>b/</u>	4	<u>c/</u>	160
Antofagasta	304.3	775	27 029	67 550
Atacama	107.7	437	38 391	166 326
Coquimbo	10.9	74	2 761	20 898
Aconcagua	17.6	188	807	14 168
Valparaíso	3.3	22	1 108	72 992
Santiago	15.5	76	3 925	19 294
O'Higgins	144.4	429	12 006	35 607
<u>Total</u>	<u>603.7</u>	<u>2 005</u>	<u>86 027</u>	<u>396 995</u>

Fuente: Universidad Católica.

a/ Se supone que corresponde al volumen captado.

b/ Menos de 500 toneladas.

c/ Menos de 500 m<sup>3</sup>.

Cuadro 13

## PRODUCCION DE SALITRE Y NECESIDADES DE AGUA

Provincia	Producción (1 000 toneladas)		Agua usada (1 000 m <sup>3</sup> /año)	
	1963	1985	1963	1985
Tarapacá	118.3	164	890	1 230
Antofagasta	1 026.3	1 436	7 290	10 765
<u>Total</u>	<u>1 144.6</u>	<u>1 600</u>	<u>8 180</u>	<u>11 995</u>

Fuentes: Universidad Católica

La producción de carbón, concentrada en los alrededores de Concepción, y la de petróleo y gas, en la isla de Tierra del Fuego, no creará, en la medida de lo previsible, problemas de abastecimiento y distribución del agua, ni constituirá un peligro de contaminación. La situación es diferente en el caso del cobre y el salitre, cuyos yacimientos se encuentran en regiones donde es grave la escasez de agua. En la proyección superior de la producción de cobre se supuso que se aprobarían los convenios que se están discutiendo actualmente y que se llegaría a extraer unos 2 millones de toneladas en 1985. Para el salitre se conservó hasta 1985 la tasa de aumento de la producción que postula la CORFO para 1970 en su plan decenal.

Los cuadros 12 y 13 indican las proyecciones del uso (captación) del agua. Se supuso que la tasa de pérdidas ascendía al 15 por ciento de la cantidad captada.

## ENERGIA ELECTRICA

El agua empleada por las centrales de generación de energía a vapor en las provincias situadas al sur de Atacama se calculó aplicando al volumen actual de captación de agua la tasa de aumento que la ENDESA asigna a la generación termoeléctrica. En las tres provincias del norte se dividió el volumen de agua extraído entre las centrales de las empresas mineras y las demás, según su respectiva capacidad. Las proyecciones sobre el agua empleada por las empresas mineras se basaron en la tasa de crecimiento calculada para la industria minera; otras centrales se proyectaron a la tasa de crecimiento calculada por la ENDESA para la producción de energía en todo el país -termoeléctrica o hidroeléctrica- suponiendo que la energía hidroeléctrica constituiría una proporción insignificante del aumento de energía en el extremo norte.

Cuadro 14

USO DE AGUA PARA LA PRODUCCION DE ENERGIA TERMoeLECTRICA, 1965 Y 1985

(1 000 m<sup>3</sup>/año)

Provincia	Volumen utilizado en 1965	Hipótesis media B	
		Múltiplo de aumento con respecto a 1965	Necesidades previstas para 1985
Tarapacá	110	5.79	637
Antofagasta	<u>246 071</u>	4.02	<u>988 910</u>
Cobre	177 171	3.33	589 979
Otros	68 900	5.79	398 931
Atacama	<u>2 806</u>	4.31	<u>12 104</u>
Cobre	1 684	3.33	5 608
Otros	1 122	5.79	6 496
Coquimbo	8 885	1.39	12 350
Valparaíso	93 253	1.39	129 622
Santiago	56 293	1.39	78 247
Linares	1 421	1.39	1 975
Concepción	1 403	1.39	1 950
Bío-Bío	7 771	1.39	10 802
Llanquihue	553	1.39	769
Chiloé	1	1.39	1
Aysén	1	1.39	1
Magallanes	1 354	1.39	1 882

Fuente: Centro de Investigaciones Económicas, Universidad Católica.

Se estimó que las pérdidas serían iguales al 0.42 por ciento del agua extraída, según la experiencia de lo que ocurre en el oeste y sudoeste de los Estados Unidos (lo cual equivale aproximadamente al estado de California).

El cuadro 14 resume estos cálculos.

Excepción hecha de los embalses que atienden la regulación diaria la ENDESA no aprovecha ahora los embalses artificialmente construidos para la generación de

energía, <sup>7/</sup> pero pronto lo hará en Rapel. Se encuentran en estudio otros siete proyectos que usan embalses artificiales. Cabimbao, Guayquivilo, Melado, Colbún, Porvenir, Ralco y Collipulli. Su capacidad total asciende a unos 8 000 millones de metros cúbicos, de los que 4 100 corresponderían a Ralco. Como se verá más adelante, las estimaciones de la capacidad de almacenamiento para atender las necesidades de derivación del agua en 1985 en la misma región del país donde se encuentran ubicados estos proyectos fluctúan entre 8 500 y 22 000 millones de metros cúbicos. De ahí la necesidad de esforzarse por elaborar proyectos que cumplan simultáneamente dos o más objetivos.

Si bien los requerimientos de agua para energía hidroeléctrica no son parte de los modelos desarrollados en este trabajo, la omisión no puede dar lugar a grandes errores. Si el calendario de requerimientos de caudal para las plantas hidroeléctricas coincide con el de aguas abajo para riego y otros usos, los gastos requeridos son complementarios y el almacenamiento creado para energía hidroeléctrica puede considerarse como almacenamiento necesario para regularizar el caudal de acuerdo con el modelo.

Si los usos hidroeléctricos no son complementarios en el tiempo y las instalaciones de energía están aguas arriba de los demás usos, habría necesidad de re-regulación para restituir el régimen de caudales original. En este caso el almacenamiento total se habrá subestimado en la cantidad necesaria para la generación hidroeléctrica o para la re-regulación, según cual sea la mayor.

Si los usos hidroeléctricos están aguas abajo de los otros y por la evapotranspiración en el cauce superior no queda bastante agua para la demanda hidroeléctrica, siendo así que los usos hidroeléctricos deben ser prioritarios sobre los otros, el modelo habrá sobrestimado el nivel concebible de los "otros" usos pero no necesariamente los requerimientos totales de almacenamiento. En ese caso, lo que se estimó como necesario para "otros" usos puede ser asignado a producción de energía.

## SECTOR MANUFACTURERO

Después de proyectar la producción manufacturera para el país en conjunto, se hizo lo mismo por provincias y, en algunos casos por ciudades. Los métodos seguidos para preparar las proyecciones y distribuciones por provincias corresponden a dos categorías distintas:

a) Proyecciones basadas en los planes de las propias empresas, de la CORFO o de la ODEPLAN en cuanto a futuras expansiones de la producción.

b) Estimaciones de la producción futura basadas en el supuesto de que la producción cubrirá la demanda proyectada computada a base de estimaciones del crecimiento demográfico del ingreso por habitante y de la elasticidad-ingreso de la demanda. Cuando fue oportuno, también se tuvo en cuenta la estimación de la balanza del comercio exterior.

---

<sup>7/</sup> Cipreses, Abanico y Pilmaiquén aprovechan el agua de los lagos naturales.

Se hicieron proyecciones para alimentos y bebidas, papel y celulosa, productos químicos, refinación del petróleo y siderurgia. Todas las demás actividades industriales se agruparon en una sola categoría.

El método para determinar la distribución regional varió según la industria. En el caso de los alimentos, supusimos que se mantendría la distribución en porcentajes de 1956. Aplicamos el mismo supuesto para los productos químicos y para la categoría de "otras industrias". En el caso del papel y la celulosa admitimos que la distribución relativa proyectada para 1970 se perpetuaría hasta 1985. Para la industria petroquímica y la del petróleo se tomaron como base los planes de las compañías, extendiéndolos hacia el futuro. La distribución de la producción siderúrgica se basó en los porcentajes de distribución de 1961.

Los cuadros 15 y 16 resumen las proyecciones de la producción manufacturera para 1985 y su distribución por provincias.

Cuadro 15

PROYECCIONES DE LA PRODUCCION MANUFACTURERA, 1985

(Hipótesis media B)

Sector	Tasa de crecimiento 1964/85 (porcentajes)	Producción (miles de toneladas)
Papel	6.5	614.4
Celulosa	7.3	781.7
Alimentos y bebidas	5.0	
Productos químicos	6.0	
Productos petroquímicos: <u>a/</u>		
Etileno		100.0
Aromáticos		25.0
Amoníaco		740.0
Acero	6.2	2 131.2
Refinación de petróleo	7.7	14 176.3
Todos los demás	8.0	

a/ Actualmente no hay producción petroquímica. La proyección aquí formulada se basa en datos proporcionados por el ingeniero Estanislao Fabres, de la Empresa Nacional de Petróleo (ENAP).

Basándose en los resultados obtenidos para cuatro grupos industriales chilenos cuya producción física y consumo de agua conocíamos, se llega a la conclusión de que, a falta de información directa sobre el consumo de agua, podría hacerse una estimación bastante acertada aplicando los coeficientes industriales estadounidenses por unidad de valor agregado después de establecer una equivalencia monetaria. Podría estimarse la captación de agua en Chile aplicando un coeficiente norteamericano de uso de agua al valor agregado chileno y reduciendo el resultado en un 38 por ciento a fin de corregir la exageración observada como promedio en las cuatro industrias cuyos datos son conocidos.



Cuadro 16

## DISTRIBUCION PORCENTUAL DE LA PRODUCCION INDUSTRIAL POR PROVINCIAS

Provincia	Alimentos a/	Celulosa b/	Papel b/	Productos químicos a/ y c/	Petro- química d/	Refina- ción de petróleo e/	Acero f/	Todas las demás industrias a/ y g/
Tarapacá	-	-	-	2	-	-	-	-
Antofagasta	1	-	-	8	-	-	-	-
Atacama	-	-	-	-	-	-	-	-
Coquimbo	2	-	-	2	-	-	-	1
Aconcagua	2	-	-	-	-	-	-	1
Valparaíso	22	,5	2	16	3	50	-	17
Santiago	36	2	22	63	-	30	5	64
O'Higgins	5	-	-	1	-	-	-	-
Colchagua	1	-	-	-	-	-	-	1
Curicó	1	-	-	-	-	-	-	-
Talca	4	,5	2	2	-	-	-	1
Maule	-	15	-	-	-	-	-	-
Linares	1	-	-	-	-	-	-	-
Ñuble	1	-	-	-	-	-	-	-
Concepción	6	9	25	5	12	20	95	11
Arauco	-	15	-	-	-	-	-	-
Bío-Bío	2	57	45	-	-	-	-	-
Malleco	2	-	-	-	-	-	-	-
Cautín	2	-	-	-	-	-	-	1
Valdivia	4	1	4	-	-	-	-	2
Osorno	4	-	-	-	-	-	-	-
Llanquihue	2	-	-	-	-	-	-	-
Chiloé	-	-	-	-	-	-	-	-
Aysén	-	-	-	-	-	-	-	-
Magallanes	1	-	-	-	85	-	-	-
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

a/ Basada en la distribución del valor del mercado en 1956, citada en Industria, 1956, boletín publicado por la Dirección de Estadística y Censos.

b/ Basada en la distribución de la producción prevista para 1970, según el estudio de FAO-CEPAL, El papel y la celulosa en América Latina, Revisión 2 (mayo de 1965).

c/ Las cifras correspondientes a Aconcagua, Ñuble, Bío-Bío, Cautín, Valdivia, Osorno, Llanquihue y Magallanes suman el 1 por ciento.

d/ Distribución implícita en los planes de las compañías extendidos hasta 1985.

e/ Basada en los planes de la compañía para 1976.

f/ Basada en 1961.

g/ Tarapacá, Antofagasta, Atacama, O'Higgins, Curicó, Maule, Linares, Ñuble, Arauco, Bío-Bío, Malleco, Osorno, Llanquihue, Chiloé, Aysén y Magallanes suman el 1 por ciento.

Se supuso que en 1985 prevalecerían las tasas de captación de agua por unidad de valor agregado vigentes en 1957. Como es posible que aumente la circulación, la captación no constituye una medida satisfactoria de las necesidades de agua. Además, con respecto a una cuenca en conjunto la captación significa una exageración de las necesidades totales. De ahí que sea necesario saber cuánta agua se pierde. Como no se dispone de datos de la tasa de pérdida por unidad de producción en Chile, hubo que adaptar a las condiciones chilenas coeficientes basados en la experiencia estadounidense.

Aunque es probable que se exagerase al estimar la captación en 1985 aplicando el mismo coeficiente<sup>8/</sup> que rige actualmente, no ocurre lo mismo necesariamente con respecto a la pérdida al menos juzgando por la experiencia de los Estados Unidos. La ignorancia en lo relativo a la evolución de las tasas de pérdida (y necesidades de dilución) por unidad de producto a medida que aumenta la tasa de recuperación es igual en ambos países.

El cuadro 17 muestra las tasas de captación y de pérdida por unidad de producción adoptadas para Chile. Un cambio en la tasa de recirculación chilena que llevara a un cambio en la captación por unidad no significaría automáticamente un cambio en la tasa de pérdida por unidad de producción.

Cuadro 17

TASAS DE USO DE AGUA POR UNIDAD DE PRODUCCION MANUFACTURERA

Industria	Unidad	Captación de agua por unidad (m <sup>3</sup> )	Pérdidas por unidad (m <sup>3</sup> )
Alimentos	Valor agregado <u>a/</u>	0.13	0.01
Celulosa	Tonelada	272.6	24.5
Papel	Tonelada	95.7	8.6
Productos químicos	Valor agregado <u>a/</u>	0.69	0.05
Petroquímica:			
Etileno	Tonelada	1 051.2	21.0
Aromáticos	Tonelada	1 576.8	31.5
Amoníaco	Tonelada	45.1	0.9
Refinación de petróleo	M <sup>3</sup>	26.6	1.1
Acero	Tonelada	94.6	2.8
Todas las demás	Valor agregado <u>a/</u>	0.08	0.01

a/ Calculado en escudos de 1962.

Para todos los grupos de manufacturas exceptuados bebidas y comestibles, se clasificaron las provincias como exclusivamente interiores o costeras según que las fábricas estén ubicadas río arriba o río abajo. Esto fue posible porque la actividad manufacturera está concentrada en su mayor parte en una sola ciudad o región pequeña de cada provincia, y esa clasificación de "todo o nada" bien poco puede acrecentar los errores derivados de la incertidumbre ya que es parte de las proyecciones. En el caso de la elaboración de alimentos, en cambio, las fábricas son numerosas, están muy dispersas y su distribución tiende a ceñirse a la de la población. Por este motivo se distribuyó la elaboración de alimentos proporcionalmente a la distribución estimada de la población urbana entre ciudades costeras e interiores. El cuadro 1 indica los porcentajes de distribución y la clasificación costera-interior seguida.

<sup>8/</sup> Para el acero se usó el coeficiente estimado para 1970.

Cuadro 18

CAPTACION Y PERDIDA DE AGUA EN EL SECTOR MANUFACTURERO  
SEGUN LA HIPOTESIS MEDIA B, 1985

(Miles de m<sup>3</sup>/año)

Provincia	Extracción	Pérdida I a/	Pérdida II b/
Tarapacá	3 300	3 232	225
Antofagasta	11 400	11 163	792
Atacama	-	-	-
Coquimbo	5 700	5 136	387
Aconcagua	3 000	232	198
Valparaíso	211 500	210 534	9 610
Santiago	374 400	22 564	22 164
O'Higgins	4 400	278	278
Colchagua	2 400	185	162
Curicó	600	42	36
Talca	9 000	648	648
Maule	32 000	32 000	2 880
Linares	600	36	36
Ñuble	600	42	36
Concepción	444 200	444 003	16 312
Arauco	32 000	32 000	2 880
Bío-Bío	149 100	13 383	13 383
Malleco	1 100	66	66
Cautín	3 000	221	198
Valdivia	10 400	9 452	792
Osorno	2 400	144	144
Llanquihue	1 200	862	72
Chiloé	-	-	-
Aysén	-	-	-
Magallanes	34 000	34 000	704
<b>Total</b>	<b>1 336 300</b>	<b>820 223</b>	<b>72 003</b>

a/ Pérdida I: Pérdidas en el sector manufacturero calculadas en el supuesto de que las fábricas situadas río abajo no recirculan el agua y que se pierde toda la captación efectuada río abajo.

b/ Pérdida II: Pérdidas en el sector manufacturero calculadas en el supuesto de una recirculación total en las fábricas situadas río abajo.

En el cuadro 18 se presentan los resultados de estas estimaciones para 1985. La pérdida I se computa suponiendo que las fábricas costeras no recirculan el agua y que toda la captación se descarga en el mar. La pérdida II supone que en las fábricas río arriba y río abajo sólo es necesario tener en cuenta la evaporación, transpiración y el agua incorporada al producto. Esto supone la recirculación total por la fábrica o bien que toda el agua descargada es captada para otros usos. Sólo se da una tasa de captación. Sin embargo, cabe suponer que el límite teórico al que desciende la captación cuando aumenta la recirculación está dado por la pérdida II. No es probable que se alcance ese límite, pues generalmente se purga el agua usada en el proceso industrial una vez alcanzado cierto nivel de contaminación.

## SISTEMAS MUNICIPALES

Las necesidades de agua de los sistemas municipales han sido consideradas como uso homogéneo, aunque se emplean en usos domésticos y en manufacturas livianas y en servicios cívicos y sanitarios. El método corriente de calcular las necesidades municipales es partir de una cifra histórica por habitante para cada tipo de uso, proyectar la tendencia, computar las necesidades totales multiplicando por la población urbana prevista y sumar los resultados. Numerosos obstáculos se oponen al empleo de este método en Chile; pero no existe otro que dé mejores resultados.

Cuadro 19

### CONSUMO DE AGUA DE LOS SISTEMAS MUNICIPALES <sup>a/</sup>

(Litros diarios por habitante)

Zonas	Grupos				
	I	II	III	IV	V
I	150	200	250	-	-
II	200	250	290	370	400
III	160	230	260	350	-
Zona I: Tarapacá-Coquimbo Zona II: Aconcagua-Linares Zona III: Ñuble al sur  Grupo I: Ciudades de hasta 5 000 habitantes Grupo II: Ciudades de 5 000 a 10.000 habitantes Grupo III: Ciudades de 10 000 a 100 000 habitantes Grupo IV: Ciudades de 100 000 a 500 000 habitantes Grupo V: Ciudades de más de 500 000 habitantes					

Fuente: Centro de Investigaciones Económicas, Universidad Católica.

a/ Consumo rural para usos domésticos para todas las regiones: 100 litros diarios por habitante.

La captación de agua para los sistemas municipales fue estimada en función de la población urbana y el tamaño de la comunidad urbana. (Véase el cuadro 19.) Además se hizo una diferenciación entre las zonas principales del país. Al igual que en los cálculos efectuados por la CEPAL y por otras autoridades, se adoptó la hipótesis de que el consumo por habitante en las cuatro provincias norteñas era inferior al de las ciudades de igual tamaño en la zona central, lo que refleja la capacidad insuficiente de los sistemas municipales para satisfacer la demanda de agua. En esta hipótesis se combinan las fuerzas de la oferta y la demanda y el Centro de Investigaciones de la Universidad Católica de Chile llegó a la conclusión de que ningún otro supuesto para el período de la proyección sería realista.

Se ha estimado también el consumo de agua de la población rural para usos domésticos. Esta categoría abarca las comunidades que tienen menos de 1 000 habitantes, así como familias aisladas.

La diferenciación del cuadro 1 entre usuarios aguas arriba (mediterráneos) y aguas abajo (costeros), permite computar las necesidades para fines municipales, que son iguales a las pérdidas aguas arriba más la captación aguas abajo. (Véase cuadro 20). Se ha supuesto que las pérdidas representan el 20 por ciento del consumo en todas las ciudades. Cuando fue posible captar la descarga de desechos para usos industriales o agrícolas, pudieron computarse las necesidades del caudal aguas abajo usando las pérdidas municipales aguas abajo antes que las captaciones. Todo el consumo doméstico en las zonas rurales se consideró como pérdida, ya sea aguas arriba o aguas abajo.

Cuadro 20

NECESIDADES MEDIAS DE LOS SISTEMAS MUNICIPALES PARA 1985

(Miles de m<sup>3</sup>/año)

	Pérdidas aguas arriba más captación aguas abajo	Pérdidas totales aguas arriba y aguas abajo
Tarapacá	15 516	3 964
Antofagasta	26 814	8 329
Atacama	8 754	6 364
Coquimbo	22 422	11 383
Aconcagua-Valparaíso	106 625	33 236
Santiago	202 596	188 650
O'Higgins-Colchagua	16 905	16 557
Curicó-Linares	26 064	24 552
Ñuble	11 047	10 909
Concepción-Cautín	148 304	59 205
Valdivia-Llanquihue	54 540	26 334
Chiloé	4 569	2 361
Aysén	6 786	2 350
Magallanes	19 911	4 581
<u>Total</u>	<u>670 853</u>	<u>398 775</u>

TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS Y DILUCION DE DESECHOS

Si se admite que el oxígeno disuelto que contiene el agua en el río no disminuye más allá de un mínimo determinado después de mezclarse con la materia orgánica susceptible de descomposición que descargan las ciudades y los usuarios industriales, el agua del río servirá para todos los usos comunes sin requerir una elevada inversión en su tratamiento ni ofender el sentido estético. El contenido de oxígeno disuelto generalmente aceptado como norma es de 4 miligramos por litro de agua.<sup>9/</sup>

<sup>9/</sup> La elección de 4 mg/l de oxígeno disuelto como norma de la calidad del agua, de ningún modo presupone que el oxígeno disuelto sea el factor crítico en las aguas de Chile o que el oxígeno disuelto sea en Chile un elemento que represente satisfactoriamente otras características de calidad. Esa norma ha sido adoptada en este informe porque haremos estimaciones de la contaminación orgánica -municipal e industrial- y de las necesarias diluciones de desechos basadas en coeficientes de los Estados Unidos. Estas referencias a la calidad del agua se limitan a la contaminación orgánica, dada la falta de información sobre otros contaminadores. Hay un problema de salinidad (aunque se ignora en qué medida o qué gravedad reviste) y un problema de contaminación por bacterias coliformes (respecto del cual tampoco hay datos completos).

Cuadro 21

COEFICIENTES RELATIVOS A LA CONTAMINACION INDUSTRIAL  
EN LA REGION CENTRAL DE CHILE

	E. P. producidos cada día por 100 millones de m <sup>3</sup> /año de agua captada
Alimentos	2.00
Celulosa y papel	0.66
Productos químicos	0.40
Petróleo refinado	0.03 <u>a/</u>

Necesidades de agua de dilución por E. P. producidos diariamente  
(4 mg/l de oxígeno disuelto)

Nivel de tratamiento (porcentaje)	Millones de M <sup>3</sup> por año
0	3 179.2
35	2 073.2
70	952.7
80	620.5
90 <u>b/</u>	379.6

Fuente: Datos de la región central de la costa occidental de los Estados Unidos tomados de George Reid, Water Requirements for Pollution Abatement, Coom. Print 29, U. S. Senate Select Committee on National Water Resources (Washington, 1960).

Nota: Suponiendo que cada residente urbano producía un "equivalente de población" por día, no se tuvo en cuenta el consumo de agua para calcular los E. P. de los sistemas municipales.

a/ Representa los E. P. diarios producidos por millón de m<sup>3</sup> de petróleo refinado.

b/ Las necesidades de agua de dilución con tratamiento del 90 por ciento muestran el efecto de la dilución sobre los nutrientes vegetales.

Al computar las necesidades para la dilución de los efluentes se ha supuesto que si la descarga de éstos se hace "aguas abajo" no es necesario diluirlos. Al no prever agua para la dilución de los efluentes descargados a lo largo de la costa o en los estuarios, se admite implícitamente que la región de la costa marítima no sufrirá ni se perjudicarían las playas usadas para esparcimiento. No se dispone de datos para comprobar la validez de este supuesto.

A fin de calcular lo que podría suceder en 1985 se usaron coeficientes originalmente preparados para la región central de la costa occidental estadounidense.<sup>10/</sup> Se calculó la

<sup>10/</sup> Los cálculos de los desechos producidos y las necesidades de dilución en diversos niveles de tratamiento fueron tomados de George Reid "Water requirements for pollution abatement", en Water resources activities in the United States, Committee Print N° 29, U. S. Senate Select Committee on National Water Resources (Washington, 1960) y adaptados por N. Wollman, Water supply and demand, monografía en preparación para "Recursos para el Futuro". Se eligió la región central de la costa del Pacífico porque se asemeja a Chile más que cualquier otra región de los Estados Unidos.

Cuadro 22

NECESIDADES DE AGUA PARA LA DILUCION DE EFLUENTES SEGUN LA HIPOTESIS  
 MEDIA B (4 mg/1 OXIGENO DISUELTO), 1985

(Millones de m<sup>3</sup>/año)

Provincia	Cero a/			80 por ciento a/			90 por ciento a/		
	Munici- pales	Manu- facturas	Total	Munici- pales	Manu- facturas	Total	Munici- pales	Manu- facturas	Total
Tarapacá	86	3	89	17	1	18	10	b/	11
Antofagasta	595	16	610	116	3	119	71	2	73
Atacama	505		505	99		99	60		60
Coquimbo	553	38	591	108	7	115	66	5	71
Aconcagua- Valparaíso	1 389	321	1 710	271	63	334	166	38	204
Santiago	15 305	2 938	18 242	2 987	573	3 560	1 827	351	2 178
O'Higgins- Colchagua	1 262	248	1 510	246	48	294	151	30	180
Curicó-Linares	1 488	308	1 796	290	60	350	178	37	214
Ñuble	750	38	788	146	7	153	90	5	94
Concepción-Cautín	2 124	3 338	5 462	414	652	1 066	254	399	652
Valdivia- Llanquihue	938	238	1 176	183	47	230	112	28	140
Chiloé	22		22	4		4	3		3
Aysén	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Magallanes	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<u>Total c/</u>	<u>25 017</u>	<u>7 487</u>	<u>32 504</u>	<u>4 883</u>	<u>1 461</u>	<u>6 344</u>	<u>2 987</u>	<u>894</u>	<u>3 881</u>

a/ Nivel de tratamiento de desechos.

b/ Menos de 500 000 m<sup>3</sup> por año.

c/ Las discrepancias en los totales se deben al redondeo.

contaminación producida en función de la captación después de ajustar la de los Estados Unidos con objeto de que correspondiera a las tasas estimadas de recirculación en Chile. Luego se midió toda la contaminación en "equivalentes de población"<sup>11/</sup> y se calculó el caudal de dilución en función de los E. P. descargados en los ríos después del tratamiento, previa deducción de los desechos descargados directamente en las aguas de la costa. Se computaron las necesidades de dilución para toda una gama de niveles de tratamiento que tiene por fin eliminar las sustancias bioquímicas que necesitan oxígeno (DOB). Según las fórmulas de Reid, los caudales de dilución guardan una relación lineal con la cantidad de desechos descargados, dado un nivel deseado de oxígeno disuelto en el río después de mezclarse con ellos. Los desechos en los que se ha eliminado la mitad de las sustancias bioquímicas que requieren oxígeno (tratamiento del 50 por ciento) requieren el doble de la dilución necesaria para un tratamiento del 75 por ciento y la mitad de la cantidad necesaria sin tratamiento alguno. Un nivel de tratamiento superior al 90 por

11/ "Equivalentes de población" (E.P., escrito en mayúsculas) es una medida de los desechos industriales expresada en millones de unidades. Una unidad (e.p.) es la cantidad de "oxígeno necesaria para eliminar los desechos orgánicos que requieren oxígeno de un equivalente de población" (Reid, loc.cit., p. 9).

ciento aportaría tales cantidades de nitrógeno y fósforo a los ríos de la región central de la costa occidental estadounidense que la floración de algas crearía una demanda secundaria de oxígeno y conduciría a un aumento antes que a una reducción de las necesidades de agua de dilución. Aún con un tratamiento del 90 por ciento se observa en sus cálculos el efecto de los nutrientes vegetales, ya que las necesidades son ligeramente superiores a la mitad de la cantidad necesaria para un tratamiento del 80 por ciento.

De este modo, respecto de la contaminación industrial se calculó la captación de agua para alimentos y bebidas en la citada región estadounidense y multiplicando por 1.8 para la corrección necesaria debido a la menor recirculación en Chile, se obtuvieron 2 E. P. diarios por 100 millones de metros cúbicos de agua captada en el año. Al aplicar este coeficiente a Chile se adoptó implícitamente la combinación de productos alimenticios elaborados correspondiente a la zona central de la costa occidental de los Estados Unidos, es decir, la misma combinación de desechos de fabricación por unidad de agua consumida. Como no había forma de distinguir entre los diversos subgrupos de la industria alimenticia según su capacidad de producir desechos, tampoco fue posible adoptar otro sistema.<sup>12/</sup> Del mismo modo se calculó la producción de E. P. para la celulosa y el papel y para los productos químicos. Los factores de corrección por menor recirculación fueron en estos casos 1.2 y 1.8.

Los desechos de las refinerías de petróleo fueron tratados de distinta manera, debido al problema planteado por el uso abundante de agua salada para el enfriamiento. En este caso, se usó el coeficiente de Reid para los Estados Unidos de 0.011 E. P. diarios por millón de metros cúbicos de petróleo crudo tratado. Esta cifra, después de corregirla por 2.4, se aplicó a la refinación estimada de Chile.

En el cuadro 21 se indican los coeficientes calculados sobre la base de la región central de la costa occidental estadounidense, el caso especial de los desechos de la refinación de petróleo, y las necesidades de agua de dilución, valores expresados en millones de metros cúbicos anuales por millón de equivalentes de población descargados por día en el río.

Utilizando los coeficientes del cuadro 21, se estimaron los E. P. producidos en cada provincia, se restaron los E. P. descargados aguas abajo (es decir, en agua salobre o salada) y se computaron las necesidades para la dilución de efluentes en función del nivel de tratamiento. El cuadro 22 muestra los caudales de agua de dilución necesaria para proyectar la producción de manufacturas a base de la tasa más elevada de crecimiento (5.5 por ciento).

---

<sup>12/</sup> El mismo problema es aplicable a los cálculos de la contaminación en las distintas regiones de los Estados Unidos, ya que la "industria de productos alimenticios" se consideró homogénea en todo el país a los fines de estimar la contaminación bruta.



## Capítulo IV

### NECESIDADES TOTALES DE AGUA

Es posible ahora totalizar las proyecciones de las necesidades de agua en los sectores industrial, agrícola y minero para la generación de termoelectricidad y para los servicios municipales generales, y comparar los resultados de los diversos supuestos con respecto a la tasa de aumento del ingreso y la forma en que se expresa la "necesidad de agua". Después de examinar las disponibilidades de agua, se puede asimismo comparar las necesidades proyectadas con el escurrimiento y determinar qué escasez cabe prever, qué actividades son las principales causantes de la escasez y si la necesidad de satisfacer necesidades río abajo asegurará caudales de dilución adecuados. También podremos averiguar hasta qué punto las proyecciones suponen regulación del caudal de superficie y si una redistribución regional de las actividades puede reducir apreciablemente los costos proyectados del agua. Cabe igualmente comparar la producción agrícola proyectada en ausencia de limitaciones de agua con los recursos hidráulicos disponibles, y determinar hasta qué punto deberá aumentarse la productividad por hectárea<sup>1/</sup> a fin de alcanzar las producciones proyectadas, o por lo menos aproximarse a ellas todo lo posible. En este capítulo y en los siguientes, serán abordadas estas cuestiones.

El lector debe recordar en todo momento que la base empírica de todas nuestras conclusiones es una combinación de información escasa, mediciones provisionales y a menudo contradictorias, y supuestos audaces casi siempre basados en trasposición de coeficientes técnicos de una situación a otra. Nada nos indica el margen de error que debe preverse, no sólo porque nos estamos ocupando de condiciones hipotéticas que existirán dentro de veinte años, sino también porque es imposible determinar el error de las mediciones actuales.

Al decir "necesidades" de agua nos referimos al volumen de agua de calidad adecuada de que debe disponer un usuario cuya producción está incluida en las proyecciones para 1985 y que exige un insumo de agua, más el agua necesaria para servicios municipales. La cantidad de agua necesaria para producir determinada lista de bienes y servicios depende de la tecnología aplicada en materia de uso de agua. (Los posibles cambios tecnológicos son teóricamente considerables. Se encuentran entre ellos las variaciones en el grado de recirculación, la sustitución de procesos que requieren agua por procesos secos, y otros cambios en la técnica de producción, así como variaciones en el nivel de recuperación de desechos. Con las excepciones ya especificadas, no se les ha tenido en cuenta.) Hasta cierto punto pueden ocurrir cambios tecnológicos que no afecten los fundamentos de nuestras estimaciones. Así, por ejemplo, cabe prever que

---

<sup>1/</sup> Como se supuso un mejoramiento considerable con respecto a la práctica actual en el uso de agua para la agricultura, que es el principal uso de consumo, no deben esperarse más ahorros en el uso del agua dentro del período a que se contrae este estudio.

un aumento en la tasa de recirculación de los usuarios no agrícolas río arriba apenas afectaría las estimaciones de la "pérdida" por evapotranspiración, puesto que la cantidad de agua usada en cada ciclo es probable que fuera igual a la consumida en el caso del uso único. La captación cambiaría en forma notable, pero la pérdida cambiaría poco o nada.

Al hablar de las "necesidades de agua" de una región nos referimos al caudal que debe llevar el río para satisfacer las necesidades de captación de todos los usuarios, simultáneamente con los usos en el río mismo. Esto no es un concepto abstracto a condición de conocer todos los puntos de uso dentro de la cuenca, así como las relaciones existentes en cualquier punto entre las necesidades de captación, el régimen del caudal, la calidad original, la recuperación de los usuarios anteriores, los cambios de calidad, el tratamiento del agua y el tratamiento de los desechos<sup>2/</sup>. A falta de esa información detallada, se adoptó la hipótesis de una región con dos puntos, uno río arriba y otro río abajo, entre los cuales se divide el uso del agua. Se supone que toda el agua descargada por el usuario situado aguas arriba es recuperable para nuevo uso, mientras que la del usuario ubicado aguas abajo es irre recuperable a menos de interceptarla antes de que se vierta en el estuario o el mar.

En la formulación de los distintos métodos para medir las necesidades de agua, el término captación significa sacar agua del cauce para conducirla a un sistema hidráulico distinto (por ejemplo, instalaciones sanitarias municipales, proyectos de riego, centrales eléctricas o fundiciones). El término "pérdida" se refiere al agua que desaparece en la atmósfera por evaporación, transpiración, incorporación al producto, humedecimiento del suelo o penetración en el subsuelo que haga imposible recuperarla. "Descarga" significa las aguas que se devuelven al río u otra masa de agua receptora después de haberlas usado; el drenaje del agua de riego es un fenómeno similar, pero en general se lo denomina "caudal de retorno" o "recuperación de agua". La "pérdida" de agua en todos los usos, a excepción del riego, se suele medir por la diferencia entre la captación y la descarga. En el caso del riego, la pérdida es igual a la diferencia entre la cantidad captada y la cantidad recuperada por el drenaje hacia canales de superficie, o que puede recuperarse de rocas acuíferas recargadas. El agua dulce descargada en aguas estancadas o aguas saladas queda "perdida" para el abastecimiento de agua dulce de una región, pero en nuestras consideraciones trataremos de mantener la diferencia entre pérdidas sufridas como parte del proceso de uso y pérdidas motivadas por el lugar de descarga del agua usada. Ambos tipos de pérdida pueden modificarse cambiando la técnica de uso o descarga.

## CAPTACION

Aunque la suma de las necesidades de captación arroja un total de escaso significado -ya que no tiene en cuenta la posibilidad de usar el agua más de una vez-, de todos modos sirve como indicador común del uso de agua e indica la tasa implícita de recirculación en toda la cuenca para un determinado nivel de abastecimiento de agua. En vista de las diferencias relativamente pequeñas entre las proyecciones A y B (véanse las dos últimas columnas del cuadro 23), en general nos limitaremos a considerar los resultados de la tasa más alta de aumento del ingreso.

---

<sup>2/</sup> Se presupone que las aguas subterráneas y de superficie están interrelacionadas y que al hablar de caudal de superficie se comprende en ese concepto todo el suministro de agua.

Cuadro 23

## CAPTACION DE AGUA PARA USOS FUERA DEL RIO, SEGUN LA HIPOTESIS MEDIA B, 1985

(Millones de m<sup>3</sup>/año)

Provincia	Agri- cultura	Minería	Manu- factura	Termo- electricidad	Munici- pales	Total a/	
						Media B	Media A
Tarapacá	371	1	3	1	17	394	392
Antofagasta	91	78	11	989	40	1 210	957
Atacama	588	166	-	12	23	790	693
Coquimbo	2 438	21	6	12	33	2 510	2 495
Aconcagua-Valparaíso	2 771	87	215	130	147	3 349	3 197
Santiago	6 112	19	374	78	886	7 470	7 324
O'Higgins-Colchagua	6 940	36	7	-	49	7 032	7 016
Curicó-Linares	11 772	-	42	2	70	11 887	11 876
Ñuble	3 546	-	1	-	25	3 571	3 571
Concepción-Cautín	11 214	-	629	13	203	12 059	11 902
Valdivia-Llanquihue	29	-	14	1	81	125	121
Chiloé	5	-	-	-	3	8	8
Aysén	8	b/	34	-	6	14	14
Magallanes	23	-	-	2	19	78	78
<u>Total a/</u>	<u>45 907</u>	<u>409</u>	<u>1 336</u>	<u>1 239</u>	<u>1 603</u>	<u>50 495</u>	<u>49 644</u>

a/ Las discrepancias se deben al redondeo de las cifras.

b/ Menos de 500 000 m<sup>3</sup>/año.

Las cifras correspondientes al uso de aguas derivadas revelan el predominio del riego<sup>3/</sup>. De una extracción total proyectada de 50 500 millones de m<sup>3</sup>/año, corresponden a la agricultura 45 900 millones (aproximadamente el 90 por ciento). Menos del 1 por ciento corresponde a la minería, que es la principal industria de exportación de Chile, y alrededor del 3 por ciento por sector a las manufacturas, servicios municipales y generación de energía termoeléctrica<sup>4/</sup>.

La distribución geográfica de las necesidades proyectadas -la que, por supuesto, sólo tiene una vinculación muy lejana con la distribución geográfica de los recursos hidráulicos- está determinada por dos factores principales:

- 1) la disponibilidad de tierras regables, y
- 2) la distribución de la población y de las actividades no agrícolas.

Mientras no consideremos más que las necesidades brutas, no podremos pronunciarnos con respecto a la probabilidad de que la escasez de agua impida alcanzar la

<sup>3/</sup> El total de 45 907 millones de m<sup>3</sup>/año para agricultura y ganadería se divide en 45 759 millones para riego y 149 millones (en números redondos) para ganadería.

<sup>4/</sup> En cambio, las proyecciones de uso de agua en los Estados Unidos para 1980 indican que aproximadamente el 30 por ciento de la captación será para usos agrícolas y casi la mitad para la generación de termoelectricidad. Por lo demás, en las proyecciones corresponde aproximadamente 15 por ciento a las manufacturas 5 por ciento a servicios municipales y 1 por ciento a la minería. La diferencia entre las características del uso en ambos países es consecuencia del relativo predominio de la energía hidroeléctrica en Chile.

producción proyectada, pero sí podemos apreciar las necesidades implícitas en cuanto a tasas medias de recirculación en cada cuenca. En el caso supuesto de una regulación "total" -es decir, que se regulen los caudales de tal modo que sea posible contar con un caudal constante igual al caudal medio estimado<sup>5/</sup>- y de necesidades de agua igualmente constantes, la tasa implícita de recirculación por cuenca es:

Tarapacá	4.6
Antofagasta	11.5
Atacama	3.4
Coquimbo	2.6
Aconcagua-Valparaíso	2.3
Santiago	2.2
O'Higgins - Colchagua	1.0

En los demás lugares la tasa es inferior a la unidad. La recirculación implícita en estas cifras puede atribuirse en su mayor parte a la agricultura. Antofagasta es la única región donde la captación no agrícola va unida a una considerable medida de reutilización. En Atacama la captación no agrícola es casi igual al caudal promedio.

La importancia de la recirculación implícita en toda la cuenca reside en la vinculación que podría existir entre la captación y la descarga repetidas y los cambios en la calidad del agua. Si ese ciclo se cumple en relación con la agricultura, es probable que el agua se mineralice; si está vinculado con usos domésticos, el agua acumulará material orgánico y sales; en conexión con la minería o las manufacturas, el agua quizás acumule diversas sustancias orgánicas e inorgánicas, según el tipo de actividades; en relación con la generación de termoelectricidad, el agua puede acumular calor. Los usos industriales también pueden agregar calor. Aparte nuestras estimaciones de la demanda de oxígeno bioquímico de la contaminación causada por usos industriales y servicios públicos, no hemos tocado la cuestión de si los usos proyectados tendrán efectos cualitativos serios, cuestión de innegable importancia.

#### PERDIDAS

Suponiendo que toda el agua se pueda usar hasta que se pierda en la atmósfera o se incorpore en el producto (lo que quiere decir que toda el agua descargada se pueda recapturar para usarla de nuevo), entonces la medida de la pérdida sería la que aparece en el cuadro 24. Si ciertos usuarios o una clase de usuarios situados aguas abajo descargasen el agua en los estuarios o aguas costeras, de modo que ya no fuese recuperable como agua "dulce", las "pérdidas" deberían aumentarse para tener en cuenta tales descargas. En esta última hipótesis, la cantidad de agua dulce perdida sería igual a las pérdidas de evaporación y traspiración, más el agua incorporada en el producto, más -por lo que respecta a determinados usuarios o clases de usuarios- la captación bruta de agua dulce. En el cuadro 25 aparecen las varias estimaciones de las pérdidas cuando:

- 1) la captación municipal y agrícola aguas abajo se considera como pérdida (salvo

---

<sup>5/</sup> Debido a la probabilidad de que en un período futuro el caudal no repita exactamente la experiencia del período registrado, la frase "regulación total" se usa hiperbólicamente.

Cuadro 24

AGUAS PERDIDAS EN USOS FUERA DEL RIO SEGUN LA HIPOTESIS MEDIA B, 1985

(Millones de m<sup>3</sup>/año)

Provincia	Agri- cultura	Mine- ría	Manu- factura	Termo- electri- cidad	Munici- pales	Total a/	Abasteci- miento medio
Tarapacá	242	b/	b/	b/	3	245	86
Antofagasta	59	12	1	4	8	84	105
Atacama	383	25	-	b/	5	413	229
Coquimbo	1 590	3	b/	b/	7	1 600	953
Aconcagua-Valparaíso	1 806	13	10	1	29	1 859	1 423
Santiago	3 983	3	22	b/	177	4 185	3 371
O'Higgins-Colchagua	4 522	5	b/	-	10	4 537	6 973
Curicó-Linares	7 672	-	4	b/	14	7 690	23 302
Ñuble	2 322	-	b/	-	5	2 327	6 749
Concepción-Cautín	7 344	-	33	b/	41	7 417	61 487
Valdivia-Llanquihue	29	-	1	b/	16	46	71 164
<u>Subtotal de abastecimiento medio</u>							176 203
Chiloé	5	-	-	-	1	6	} 269 317 c/
Aisén	8	b/	-	-	1	9	
Magallanes	23	-	1	b/	4	28	
<u>Total</u>	<u>29 989</u>	<u>61</u>	<u>72</u>	<u>5</u>	<u>321</u>	<u>30 446</u>	

Nota: En este cuadro las pérdidas están limitadas a evaporación, transpiración, desaparición en el producto y aguas subterráneas irrecuperables.

a/ Las discrepancias se deben al redondeo de las cifras.

b/ Menos de 500 000 m<sup>3</sup>/año.

c/ Suma de los caudales de siete ríos importantes de las tres provincias del sur, según CEPAL, Los recursos hidráulicos de América Latina: I. Chile (E/CN.12/501/Rev. 1), publicación de las Naciones Unidas (N° de venta: 60/II.G.4), p. 31.

aquella parte de la captación municipal que, una vez descargada, puede usarse para riego);

2) todas las captaciones aguas abajo se consideran como pérdida.

Asimismo, ante la incertidumbre en cuanto a las estimaciones del uso de agua en la minería, se ha hecho un cálculo más suponiendo que toda la captación de agua para la minería es pérdida.

La necesidad "proyectada" de agua se puede establecer, sea en términos de pérdida completa, de ciertas pérdidas más ciertas captaciones o de ciertas pérdidas y captaciones más los caudales de dilución de desechos, según las opciones que tenga un país en cuanto a usos del agua en el río, recirculación, tratamiento en el punto de captación contrapuesto a tratamiento en el punto de descarga, y sustitución del caudal de dilución por un tratamiento, o viceversa. En determinados casos tal vez no se den ciertas opciones debido a la escasa cantidad de agua y a las limitaciones para el gasto de fondos en los recursos hidráulicos.

En el cuadro 24 puede verse qué pérdidas se experimentarían si no hubiese descargas al agua salada. Esto quiere decir que las pérdidas de los usuarios situados aguas abajo, incluidas las de la agricultura, se computan como si se tratara de usuarios situados aguas arriba (o como si todos los usuarios hicieran recircular el agua hasta su

Cuadro 25

SINTESIS DE VARIAS MANERAS DE CALCULAR LAS NECESIDADES DE CAUDAL  
SEGUN LA HIPOTESIS MEDIA B, 1985

(Promedio en millones de m<sup>3</sup>/año)

Provincia	Caso I	Caso II	Caso III	Caso IV
Tarapacá	311	312	328	256
Antofagasta	103	169	344	157
Atacama	439	580	493	473
Coquimbo	1 766	1 784	1 794	1 671
Aconcagua-Valparaíso	1 979	2 053	2 456	2 063
Santiago	4 240	4 287	4 254	6 363
O'Higgins-Colchagua	4 557	4 587	4 557	4 717
Curicó-Linares	7 946	7 946	7 977	7 904
Ñuble	2 333	2 333	2 333	2 421
Concepción-Cautín	7 591	7 591	8 150	8 069
Valdivia-Llanquihue	56	56	95	186
Chiloé	7	7	9	9
Aisén	11	11	15	9
Magallanes	28	28	79	28
<b>Total</b>	<b>31 366</b>	<b>31 714</b>	<b>32 883</b>	<b>34 327</b>

Caso I: Captación municipal y agrícola aguas abajo, más todas las demás pérdidas. La captación agrícola considerada es el exceso sobre la descarga municipal.

Caso II: Caso I con captación para la minería en vez de pérdida.

Caso III: Pérdidas aguas arriba, más todas las captaciones aguas abajo.

Caso IV: Dilución de desechos al 90 por ciento de tratamiento, más pérdidas.

desaparición). Este cálculo de pérdidas es una subestimación en comparación con las prácticas ahora acostumbradas, pero muestra lo que se podría considerar como necesidad mínima de agua para la actividad proyectada a base de la tecnología de producción que se utiliza o a la cual se puede recurrir con facilidad. Estas pérdidas se calculan en todos los casos partiendo de coeficientes derivados de la experiencia de los Estados Unidos, por lo cual pueden ser erróneos, probablemente por subestimaciones<sup>6/</sup>.

Las cifras muestran que alrededor del 98.5 por ciento de las pérdidas así computadas derivan del riego; la minería, la industria fabril y la generación de energía termoeléctrica sólo ocasionan el 0.5 por ciento, y las pérdidas municipales, alrededor del 1 por ciento. Comparativamente, la proyección de las pérdidas para 1980 en los Estados Unidos indica que la agricultura ocasionará el 55 por ciento del total, los usos municipales el 1.5 por ciento y las industrias manufactureras alrededor del 2 por ciento<sup>7/</sup>.

<sup>6/</sup> En gran parte porque el sistema relativamente ineficaz de canales en Chile contribuiría a provocar mayores pérdidas de agua de riego.

<sup>7/</sup> En los Estados Unidos las pérdidas totales se ven afectadas por la inclusión de conceptos para los cuales no se ha dejado margen en Chile, pero que representan el 37 por ciento de las pérdidas estadounidenses, tales como programas para conservación de suelos y humedad y para ampliación del habitat de flora y fauna. Un estudio más a fondo podría revelar en Chile necesidades semejantes.

Estas cifras indican que, a lo largo del proceso de desarrollo económico, modificaciones muy pequeñas en la amplitud de la agricultura de riego pueden tener efectos muy grandes sobre las cantidades relativas de agua disponible para usos no agrícolas, ya se midan tales usos como extracción o como pérdida. Nuestras estimaciones de los usos agrícolas de 1985 se basan en los coeficientes que se cree predominarán en 1980 en los Estados Unidos, especialmente en California, y no sobre las tasas de uso que ahora rigen en Chile, las cuales son mucho más altas según diversas autoridades. De ahí que resulte relativamente escasa la probabilidad de que en 1985 sea posible traspasar agua de los usos agrícolas a los no agrícolas sin reducir la superficie regada. Esa probabilidad, en todo caso, es más baja de lo que sería si los coeficientes de uso del agua se hubieran basado en la experiencia actual de Chile<sup>8/</sup>. En este punto cabe introducir la cuestión de la disponibilidad de agua en su forma más simple -a saber, el caudal medio anual- y relacionarla con las pérdidas proyectadas. Estas relaciones, por elementales que sean, indican las incompatibilidades básicas que existen entre la distribución de los recursos hidráulicos de Chile y la demanda proyectada para tales recursos. (Véase la última columna del cuadro 24).

El déficit de agua aumenta paulatinamente desde Tarapacá hasta la provincia de Santiago. Coquimbo y Santiago, debido a las grandes necesidades de riego, muestran el déficit mayor. Tan sólo Antofagasta, entre las siete provincias del norte, muestran un ligero excedente. Tal excedente desaparece y el déficit de las demás regiones aumenta, si las pérdidas se calculan según alguna otra de las opciones consideradas. Con independencia de los diversos modos de proceder que se consideren para calcular las necesidades de agua, sigue existiendo la pauta básica que revela el cuadro 24.

#### LA NECESIDAD DE AGUA CONSIDERADA COMO UNA COMBINACION DE CAPTACION Y PERDIDA

Una necesidad de agua determinada por la suma de las captaciones dentro de una cuenca daría una cantidad superior a lo que realmente hace falta, si los usos se dispusiesen uno tras otro y el agua no quedase demasiado contaminada para volverse a usar. Una necesidad de agua determinada por la suma de las pérdidas que ocurren dentro de una cuenca es la cantidad mínima de agua que basta en teoría. Sin embargo, es probable que esa medida no exprese por completo lo que puede lograrse en la práctica. Así, por ejemplo, las ciudades se resisten a volver a utilizar sus propias aguas servidas. Si una ciudad, por consiguiente, está situada en el punto de descarga de una cuenca y capta su abastecimiento de agua del río, directamente o a través de la tierra, la necesidad mínima de caudal será igual a las pérdidas aguas arriba más la captación municipal. Si una obra de regadío está situada junto a la ciudad y comparte el río en su punto de aguas abajo, la necesidad mínima de caudal equivaldrá a las pérdidas aguas arriba más la captación municipal y agrícola. Si la obra de regadío puede interceptar la descarga de aguas de la municipalidad antes que lleguen al mar, la necesidad mínima estará dada por las pérdidas aguas arriba más la captación municipal, más el exceso de la captación agrícola aguas

---

<sup>8/</sup> Sin embargo, incluso suponiendo que fuera nula la probabilidad de conseguir economías mayores que las calculadas, sería posible cierta economía de agua sin una reducción correspondiente de la superficie regada, si la producción se concentrase en las regiones pobres de agua y en torno a los cultivos de menores exigencias hídricas.

abajo sobre la descarga municipal (suponiendo que la captación agrícola aguas abajo sea superior a la descarga municipal aguas abajo), que es igual a la captación agrícola aguas abajo más todas las otras pérdidas. Si las industrias, minas y centrales eléctricas situadas aguas abajo no hacen recircular su agua y no hay intercepción de la descarga municipal, las necesidades totales de caudal dentro de una cuenca serán iguales a las pérdidas aguas arriba más la suma de las captaciones aguas abajo. (En la definición de "aguas abajo" está implícito que la descarga, -esto es, el caudal de retorno- de una obra de regadío situada aguas abajo es irrecuperable para usarla de nuevo.) Si el agua es más escasa que la tierra regable cabe pensar que el riego quedará limitado a la tierra aguas arriba, a menos que la productividad agrícola por unidad de insumo bruto de agua aguas abajo sea mayor que la productividad agrícola por unidad de insumo neto de agua aguas arriba, a igualdad de otros insumos.

En general, la necesidad mínima de caudal (sin considerar el caudal de dilución) es igual a todas las pérdidas más la captación hecha por el último usuario, lo mismo si éste se encuentra aguas arriba o aguas abajo. La necesidad máxima de caudal, sin considerar los caudales necesarios para mantener la calidad del agua, es igual a las pérdidas aguas arriba más toda la captación aguas abajo.

Para simplificar más la exposición se comparan a continuación tres casos distintos (casos I, II y III), siempre suponiendo que no hay limitación de agua. Estos casos, a su vez, se compararán con otro (caso IV) que tiene en cuenta la dilución de desechos. En seguida examinaremos la cuestión del abastecimiento de agua y la regulación del caudal por medio del almacenamiento (véase infra, capítulo V), después de lo cual serán estudiados los efectos de los costos del agua sobre las producciones proyectadas (véase infra, capítulo VI).

Los tres casos que se examinan detalladamente son los siguientes:

#### Caso I

Se supone que la descarga municipal aguas abajo se capta para usarse en el riego aguas abajo. Todos los demás usuarios aguas abajo hacen recircular el agua por completo. Las necesidades son iguales a la suma de todas las pérdidas más la extracción agrícola aguas abajo.

#### Caso II

Se modifica el caso I suponiendo que las necesidades de la minería no se miden por la pérdida, sino por la captación. No hay datos relativos a Chile en cuanto a la cantidad de agua descargada de un complejo de extracción de minerales, elaboración y refinación, que se pueda volver a utilizar. Sabemos que se descarga alrededor del 94 por ciento de la captación de "El Teniente", pero no sabemos cuánto pasa a lagunas donde el líquido se evapora ni cuánto va a instalaciones de tratamiento para volver finalmente al río. El caso II es claramente incompatible con los planes de aumentar la producción de cobre, a menos que se importen a Antofagasta y Atacama cantidades relativamente grandes de agua.

#### Caso III

En este caso las necesidades de agua se miden como la suma de las pérdidas aguas



arriba y las captaciones aguas abajo. Si el caso I se sitúa en un extremo de la gama de economía del agua, el caso III queda en el extremo opuesto (sin considerar los caudales de dilución).

En el cuadro 25 se vió una síntesis del cálculo detallado de los casos I, II y III.

La diferencia entre adoptar técnicas razonablemente completas de economía del agua (caso I) o no adoptar ninguna técnica (caso III)<sup>9/</sup> no es muy apreciable para el país en su conjunto (31 400 miles de millones de m<sup>3</sup>/año contra 32 900 miles de millones), pero sí tiene importancia para Antofagasta, Atacama y Aconcagua-Valparaíso.

El efecto principal de suponer que la descarga municipal aguas abajo se recupera para volverse a usar parece consistir en la mayor superficie que podría regarse. El hecho de que se riegue o no más tierra depende de que haya tierra regable a una elevación y distancia adecuadas con respecto al punto de descarga municipal. Si se recuperara toda la descarga municipal recibida aguas abajo, las superficies susceptibles de regarse con la descarga serían las siguientes:

	<u>Superficie en hectáreas</u>
Tarapacá	340
Antofagasta	500
Atacama	110
Coquimbo	510
Aconcagua-Valparaíso	3 410
Santiago	650
<u>Total</u>	<u>5 560</u>

Estas cifras no indican cuánta agua se puede obtener de un determinado sistema municipal ni si las ventajas justificarían su costo. El cálculo correspondiente tendría que hacerse por separado con respecto a cada localidad. Otra posibilidad es el uso de la descarga municipal, después de sometida a tratamiento, para fines industriales. Fuera de la región de Aconcagua-Valparaíso, la descarga municipal estimada supera a la captación estimada para la industria manufacturera en todas las regiones desde O'Higgins-Colchagua al norte. Esta opción sería atractiva si no hubiera tierras aguas abajo por regar, o si las tierras existentes aguas arriba de mejor calidad que las disponibles aguas abajo, hubieran dejado de cultivarse para permitir aguas abajo la captación destinada a la industria manufacturera. En todo caso, al calcular las pérdidas municipales sobre la base de que se podría recuperar toda la descarga municipal, como se hace en el cuadro 24, aumentamos automáticamente el uso total que se puede hacer del agua disponible dentro de cada región.

Por ahora, no sólo no se recupera la descarga municipal recibida aguas abajo, fuera de la captación experimental que se hace en la zona de Antofagasta, sino que también hay muy poca recirculación del agua usada en la industria manufacturera. En consecuencia, se pierde prácticamente toda la captación destinada a este último fin.

---

<sup>9/</sup> Debe presumirse que los niveles de tratamiento son lo suficientemente altos para que se pueda usar de nuevo el agua fuera de su curso aunque no haya dilución.

Como el efecto más probable de una escasez de agua sería una reducción de la tierra que se riega, el hecho de que los usuarios fabriles no hagan recircular el agua impondrá una nueva contracción de la agricultura de regadío. Esto significa en Antofagasta otras 300 hectáreas, y en la región de Aconcagua-Valparaíso 9 350 hectáreas. En este último caso, si el 50 por ciento del agua captada para la industria manufacturera se ahorrara mediante la recirculación y el 50 por ciento de la descarga municipal se pudiera utilizar de nuevo para el riego, podrían regarse 6 600 hectáreas.

Si las necesidades municipales y agrícolas aguas abajo se miran con un criterio más realista que el que sólo considera las pérdidas, el efecto es hacer bajar a la región de Curicó-Linares la línea en que el abastecimiento anual medio acumulado partiendo de Tarapacá al sur queda en equilibrio con las pérdidas anuales, sumadas necesidades y caudales. Si se adicionan las pérdidas que aparecen en el cuadro 24, sin tener en cuenta el uso irrecuperable aguas abajo, el excedente de la región de O'Higgins-Colchagua compensa con creces el déficit acumulado en el norte. Si el déficit se calcula a base del caso I, el excedente de la región de O'Higgins-Colchagua no alcanza a compensar el déficit de las provincias del norte. A juzgar por las proyecciones hechas para 1985, Chile sería una región de déficit neto desde su extremo norte hasta el límite sur de la provincia de Colchagua. El déficit estimado a base del caso III es mayor aproximadamente en 1 000 millones de m<sup>3</sup>/año.

#### Caso IV

Otra manera de medir las necesidades de agua consiste en sumar las pérdidas y la dilución de desechos. Determinando la necesidad de agua como la dilución de desechos más las pérdidas totales, en vez de las pérdidas aguas arriba, se tiene la seguridad de que el caudal de salida al mar será igual a la cantidad de dilución de desechos.

La suma de las pérdidas más la dilución de desechos constituye una medida satisfactoria de los caudales necesarios si las diluciones de desechos siempre son grandes con respecto a la captación en cualquier punto determinado. Esta condición es probablemente válida en los Estados Unidos, pero, puede no serlo en un país como Chile, donde los trechos aguas arriba son relativamente cortos y -excepción hecha de Santiago y varios puntos menos importantes situados en el interior- las actividades contaminadoras tienen lugar sobre todo en la costa.

Los caudales necesarios dependen del grado en que se efectúe el tratamiento. Si se impusiera una norma de calidad en las regiones donde escasea el agua, es muy probable que el tratamiento se elevaría hasta el punto en que se reduce al mínimo la necesidad de agua de dilución (en el caso presente 90 por ciento). El uso de la pérdida total más el caudal de dilución de desechos exagera un tanto las necesidades de agua, ya que la pérdida aguas abajo se podría cubrir con el caudal de dilución. La exageración, sin embargo, es mínima. (Véase el cuadro 26.)

Si el tratamiento fuera de 90 por ciento en todas las regiones, la suma de las pérdidas más los caudales de dilución en todas las provincias, desde Santiago al norte, sería de 10 983 millones de metros cúbicos por año, y el caudal anual medio de 6 170 millones de metros cúbicos. Todas las provincias, hasta Santiago inclusive, contribuye al déficit, pero más de la mitad se debe a Santiago mismo. Con un tratamiento de 0 por ciento no habría otras regiones con escasez de agua, pero el déficit neto sería mucho

Cuadro 26

PERDIDAS DE AGUA MAS DILUCION DE DESECHOS SEGUN LA HIPOTESIS MEDIA B, 1985

(Millones de m<sup>3</sup>/año)

Provincia	Pérdidas por sí solas	Grado de tratamiento (porcentaje)				Abasteci miento medio
		0	35	70	90	
Tarapacá	245	334	303	272	256	86
Antofagasta	84	694	482	267	157	105
Atacama	413	918	743	564	473	229
Coquimbo	1 600	2 191	1 986	1 777	1 671	953
Aconcagua-Valparaíso	1 859	3 569	2 974	2 372	2 063	1 423
Santiago	4 185	22 427	16 081	9 652	6 363	3 371
O'Higgins-Colchagua	4 537	6 047	5 522	4 990	4 717	6 973
Curicó-Linares	7 690	9 486	8 861	8 228	7 904	23 302
Ñuble	2 327	3 115	2 841	2 563	2 421	6 749
Concepción-Cautín	7 417	12 879	10 979	9 054	8 069	61 487
Valdivia-Llanquihue	46	1 222	813	399	186	71 164
Chiloé	6	28	21	13	9	} 269 317
Aisén	9	9	9	9	9	
Magallanes	28	28	28	28	28	
<u>Total</u>	<u>30 446</u>	<u>62 950</u>	<u>51 642</u>	<u>40 186</u>	<u>34 327</u>	

mayor. Sin tratamiento, el equilibrio entre la demanda acumulada y el abastecimiento acumulado, yendo de Tarapacá hacia el sur, no se logra hasta que prácticamente se utiliza todo el caudal medio de la región Curicó-Linares.

Mientras el uso del agua aguas abajo, en los principales puntos de contaminación, siga siendo sobre todo el riego, hay poco motivo para creer que la dilución de desechos llegará a hacerse importante, a menos que las aguas se carguen mucho de minerales o se contaminen con productos químicos persistentes. Sin mayor información, no será posible evaluar el efecto de esta forma de contaminación. Si llegara a determinarse que son innecesarios los caudales de dilución de desechos, el caudal necesario sería igual a una de las varias mediciones de pérdidas aguas arriba más captación aguas abajo.

## Capítulo V

### COSTO DEL AGUA <sup>1/</sup>

Denominamos "costo del agua" al de asegurar un determinado grado de control en el suministro de agua mediante la construcción de almacenamientos de superficie. Muchos de los reproches que pueden hacerse a la agricultura chilena son consecuencia de la escasa seguridad en el suministro de agua. En este capítulo se tratará de los costos que implica elevar cada vez más los gastos existentes hasta alcanzar el gasto medio o el gasto "necesario", si este es menor. <sup>2/</sup>

Como primer paso para calcular los costos del agua en Chile, las cuencas hidrográficas y las provincias se agruparon en regiones cuyos límites coincidieran. (Véase el cuadro 27.) Algunos ríos pequeños mencionados en el cuadro aportaban tan poco al total regional de agua de escurrimiento y las informaciones sobre ellos eran tan deficientes que no se tuvieron en cuenta. Tampoco se consideraron varios cursos de agua cercanos a la costa. En conjunto, los caudales excluidos representaban un pequeño porcentaje del escurrimiento superficial.

No se tuvieron en cuenta las aguas subterráneas, excepto las que se vierten en los cursos de agua y se miden mediante estaciones de aforo. Quizás sea apreciable la cantidad de agua que escapa a la medición, pero no se dispone de informaciones sobre el volumen de los depósitos subterráneos, la tasa de renovación ni la relación con el gasto superficial. Algunos estudios por muestreo asignan mayor importancia relativa a las aguas subterráneas en las provincias desérticas del norte.

Las informaciones básicas son incompletas desde distintos puntos de vista, a saber: 1) no es posible determinar los caudales naturales porque no se mide el volumen de aguas derivadas; 2) es difícil aislar los efectos de los caudales de retorno del riego con respecto a la contribución de las aguas subterráneas; 3) el período en que se ha efectuado la medición es demasiado corto para elaborar una curva de caudales clasificados

---

<sup>1/</sup> Las informaciones sobre los caudales de los ríos de Chile y el almacenamiento necesario para lograr los diversos niveles de regulación fueron proporcionadas por el Centro de Planeamiento de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile. Véase Estudio de la disponibilidad de recursos hidráulicos en Chile, preparado por el profesor Fernán Ibáñez, director del proyecto, y los ingenieros investigadores Ricardo Harboe y Juan Antonio Poblete (publicación N° 65-5/B, que contó con una subvención de "Recursos para el Futuro"). En este estudio figuran los cálculos detallados y se indican las limitaciones que ofrece la calidad de las informaciones.

<sup>2/</sup> Obsérvese la diferencia entre el método seguido aquí y el de otros estudios como el de la Dirección de Riego (Ministerio de Obras Públicas), Capacidad de riego actual de los ríos de la zona central de Chile (Santiago, enero de 1967), en el cual la capacidad de riego de las diversas cuencas de la zona central (Santiago-Ñuble) está determinada por los gastos mínimos registrados según las modalidades existentes en materia de almacenamiento y regulación.

Cuadro 27

## RECURSOS DE AGUA POR REGIONES

Provincias	Cuencas hidrográficas
1. Tarapacá	Lluta, Lauca, Azapa
2. Antofagasta	Loa
3. Atacama	Copiapó, Huasco
4. Coquimbo	Elqui, Limarí, Choapa
5. Aconcagua Valparaíso	Petorca, Ligua, Aconcagua
6. Santiago	Maipo
7. O'Higgins Colchagua	Rapel
8. Curicó Talca Maule Linares	Mataquito, Maule
9. Ñuble	Itata
10. Concepción Arauco Bío-Bío Malleco Cautín	Bío-Bío, Paicaví, Imperial, Toltén
11. Valdivia Osorno Llanquihue	Valdivia, Bueno, Maullín, Charniza, Petrohué, Puelo
12. Chiloé	Yelcho
13. Aysén	Palena, Cisne, Aysén, Baker, Bravo, Pascua
14. Magallanes	Serrano

que sea suficientemente exacta para la mayoría de los ríos; <sup>3/</sup> 4) el número de estaciones de aforo es demasiado reducido y éstas rara vez se encuentran ubicadas en puntos que permitan reconstruir el caudal natural que se vierte en el mar. Debido a estas limitaciones, la estimación de muchos caudales se hizo en forma indirecta, a base de correlaciones con las informaciones meteorológicas y el comportamiento de los ríos sobre los cuales se disponía de informaciones más completas. Los autores del estudio hidrológico

<sup>3/</sup> Como ya se indicó, el período en que se ha efectuado la medición de caudales fluctúa entre 3 y 34 años, con un promedio de 12.

Cuadro 28

## RELACION CAUDAL-ALMACENAMIENTO CON EL 85 POR CIENTO DE SEGURIDAD

(Caudal en millones de m<sup>3</sup> por año; almacenamiento en millones de m<sup>3</sup>)

Provincia	Caudal ahora igualado o excedi do el 95 por ciento del tiempo	70 por ciento <u>a/</u>		50 por ciento <u>b/</u>		Promedio	
		Caudal	Almace namien to	Caudal	Almace namien to	Caudal	Almace namien to
Tarapacá	41	45.7	0.37	47.2	0.37	85.5	44.7
Antofagasta	81	92.1	1.80	94.6	1.80	104.7	8.8
Atacama	81	120.1	12.80	154.2	86.5	229.2	374.3
Coquimbo	199	335.8	42.9	434.6	118.2	952.6	2 526.0
Aconcagua-Valparaíso	373	492.2	18.5	537.3	33.5	1 423.2	2 552.0
Santiago	1 220	1 567.3	67.5	1 781.8	196.0	3 371.2	3 385.0
O'Higgins-Colchagua	1 602	2 106.6	41.0	2 601.7	96.0	6 972.6	6 175.0
Curicó-Linares	3 264	4 837.6	167.6	5 714.4	314.0	23 301.9	32 801.0
Ñuble	1 009	1 482.2	35.0	1 545.3	48.0	6 748.7	11 250.0
Concepción-Cautín	10 925	16 096.9	799.4	18 040.3	1 177.3	61 487.0	45 361.0
Valdivia-Llanquihue <u>c/</u>	22 088 <u>c/</u>	30 722.7	2 069.0	37 225.2	4 021.0	71 164.2	41 228.0
Chiloé-Magallanes	83 488 <u>d/</u>					269 317.0	

Fuente: El caudal medio procede de CEPAL, *op. cit.*a/ Caudal mensual menor que ahora es igualado o excedido el 70 por ciento del tiempo. (Véanse los cuadros del Apéndice.)b/ Caudal mensual menor que ahora es igualado o excedido el 50 por ciento del tiempo. (Véanse los cuadros del Apéndice.)c/ Seguridad de 95 por ciento del almacenamiento indicado.d/ Estimado a la misma relación entre el caudal igualado o superado el 95 por ciento del tiempo y el caudal medio que hay en Valdivia-Llanquihue.

citado en la nota 3 advierten que las informaciones sobre los caudales y las relaciones sobre almacenamiento de caudales deben tomarse como aproximaciones y no pueden ser usadas en la preparación de planes detallados.

Ibáñez, Harboe y Poblete concluyen, a base del balance hidrológico del tramo más importante del valle longitudinal, entre las provincias de Aconcagua y Llanquihue, que las aguas subterráneas son de poca importancia en la zona en que los ríos desembocan en el Valle Central. Los recursos subterráneos aumentan aguas abajo por la infiltración proveniente del lecho del río, los caudales de retorno del riego y las lluvias del valle central. Por este motivo, la medición del caudal en la zona precordillerana incluiría la mayor parte (98-99 por ciento) de las disponibilidades, comprendida la alimentación de la napa subterránea, cuando es insignificante la contribución de la lluvia en las tierras bajas, como en el caso de las cuencas glaciales y pluvio-glaciales, más al norte, en los meses de verano. En invierno la estación próxima a la desembocadura de los ríos mide la existencia de agua por cuanto registra todos los aportes y no hay modificaciones apreciables por efecto de los usos consuntivos. Más al sur, la medición de la disponibilidad

de agua o caudal natural se efectúa en la estación de aforo cerca de la desembocadura del río, una vez corregidas las informaciones correspondientes a la estación del año de "consumo", estableciendo la correlación con las informaciones de la estación de "no consumo".<sup>4/</sup>

Se calculó en metros cúbicos por segundo el promedio de los caudales correspondientes a cada mes de registro y se identificaron, para cada mes por separado, los caudales igualados o superados durante el 95, el 96, el 70 y el 50 por ciento del tiempo y asimismo el caudal medio a largo plazo para todo el período de registro.

Las necesidades de almacenamiento para elevar el caudal bajo tal como ahora existe (el igualado o superado durante el 95 por ciento del tiempo en el mes de caudal más bajo) a caudales sucesivamente superiores hasta llegar al caudal medio se calcularon con tres grados de seguridad: 100, 95 y 85 por ciento.<sup>5/</sup> El cuadro 28 indica las necesidades de almacenamiento que aseguren los caudales estipulados con una seguridad de 85 por ciento. Nos concentramos en las necesidades de almacenamiento que se requieren para dar un 85 por ciento de seguridad -es decir, el caudal igualará o superará el caudal especificado en 17 años cada 20- porque este es el nivel de seguridad empleado por la Dirección de Riego para sus proyectos.<sup>6/</sup> Posteriormente examinaremos la significación de un grado de seguridad más elevado.

#### Necesidades de almacenamiento para hacer frente a las variaciones estacionales de la demanda

Las necesidades estacionales de agua alcanzan su punto máximo en verano y bajan casi a cero en los meses de invierno. Después de haber evaluado las necesidades previstas para todos los usos, Ricardo Harboe comparó la capacidad de almacenamiento necesaria para hacer frente a la modalidad estacional de consumo y la capacidad de almacenamiento para proporcionar un caudal constante, suponiendo que la regulación se hizo llegar a los límites del caudal medio anual en las siete provincias y a las necesidades previstas en el resto del país. La capacidad de almacenamiento para hacer frente a las necesidades estacionales era superior a la capacidad de almacenamiento para lograr un caudal constante en todas las regiones, menos en Aconcagua, Valparaíso y Santiago. En algunas regiones la capacidad de almacenamiento para hacer frente a las necesidades de riego estacional era más del doble del volumen necesario para asegurar un caudal mínimo especificado. La relación entre el almacenamiento necesario para hacer frente a las necesidades estacionales y el almacenamiento necesario para lograr un caudal constante se denomina "coeficiente de almacenamiento".

Al calcular los costos de almacenamiento se supuso primero que las necesidades de riego podrían expresarse en función de una cantidad anual (es decir, prescindiendo de

---

<sup>4/</sup> Ibáñez, Harboe y Poblete, *op. cit.*, pp. 19-27.

<sup>5/</sup> La regulación capaz de lograr un caudal medio con absoluta seguridad es teóricamente imposible, a menos que los caudales futuros dupliquen su registro histórico.

<sup>6/</sup> Expresado en forma más exacta, durante 3 años de cada 20 el caudal puede ser inferior en uno o más meses al caudal indicado.

Cuadro 29

MULTIPLICADORES PARA AJUSTAR EL ALMACENAMIENTO DEL CAUDAL MÍNIMO  
AL CAUDAL QUE SE NECESITA ESTACIONALMENTE <sup>a/</sup>

Provincia	Multipli- cadores	Provincia	Multipli- cadores
Tarapacá	1.24	O'Higgins-Colchagua	1.85
Antofagasta	2.28	Curicó-Linares	2.82
Atacama	1.13	Ñuble	2.88
Coquimbo	1.13	Concepción-Cautín	b/
Aconcagua-Valparaíso	0.95	Valdivia-Llanquihue	sin riego
Santiago	0.92		

RIO ELQUI: MULTIPLICADORES CORRESPONDIENTES A CAUDALES INFERIORES AL PROMEDIO

Caudal (millones de m <sup>3</sup> /año)	Almacenamiento (millares de m <sup>3</sup> )		Multiplicador correspon- diente al caudal estacional
	Constante	Estacional	
165	30	48	1.6
205	76	142	1.87
262	403	408	1.01
350 (promedio)	1 285	1 420	1.1

- a/ Basados en las necesidades de almacenamiento para hacer frente a la modalidad estacional con regulación total en las primeras seis regiones, y para las necesidades de agua prevista en las cuatro regiones restantes.
- b/ Para las necesidades previstas con una seguridad de 85 por ciento no se requeriría almacenamiento si el caudal fuera constante. El almacenamiento para hacer frente a las necesidades estacionales se calculó en 473 millones de metros cúbicos.

las variaciones estacionales). Después de calcular el almacenamiento en esta forma, se ajustaron el volumen y los costos correspondientes a cada región. De esta manera es posible usar una tabla de costo del caudal para indicar los costos de los incrementos del caudal mínimo y ajustar los resultados para que coincidieran con las necesidades estacionales de cada región.

En varios de los modelos preliminares no se distinguió entre el almacenamiento para mantener caudales constantes (destinados a usos no agrícolas) y el almacenamiento para compensar la variación estacional de los caudales, pensando que los primeros suelen constituir una fracción pequeña del total. En consecuencia las necesidades de almacenamiento se calcularon suponiendo que todos los caudales tenían la misma modalidad estacional. En los modelos más completos, en los que interesaba conocer la variación de los costos marginales, se estableció la distinción entre ambos tipos de almacenamiento. Otro pormenor omitido de todos los modelos fue la determinación de las pérdidas adicionales por evaporación, que habría que agregar a las necesidades adicionales de almacenamiento estacional. Hay que seguir investigando el problema de la evaporación del embalse en general, pero es necesario saber también cómo influirían las modalidades estacionales de almacenamiento y descarga en las pérdidas por evaporación.

Aplicaremos el multiplicador obtenido comparando el caudal medio constante con el caudal medio regulado estacionalmente, aunque se trate de caudales inferiores. Este



procedimiento tal vez no exprese totalmente las necesidades de almacenamiento cuando se trata de un caudal inferior al promedio. Los cálculos efectuados para el río Elqui indican que el multiplicador, para hacer frente a las variaciones estacionales, tiende a ser más alto para los caudales inferiores al promedio que para los caudales medios. (Véase el cuadro 29.) Esto puede explicar en parte los coeficientes relativamente elevados obtenidos para las cuatro regiones situadas al sur de Santiago. Si en la región del norte se introdujera la regulación para un nivel de consumo de agua inferior al que representa el caudal anual medio, es probable que aumentara el multiplicador, a juzgar por los resultados derivados del río Elqui. Con todo, la disminución del consumo del agua probablemente iría acompañada por una reducción de la importancia relativa de la agricultura y, en consecuencia, por una disminución de la variabilidad estacional de las necesidades, lo cual tendería a reducir el multiplicador en todas las regiones excepto en Aconcagua-Valparaíso y Santiago, en las que el multiplicador se elevaría. Sin embargo, no se tendrán en cuenta sistemáticamente estos refinamientos en relación con las variaciones hipotéticas de la producción regional que serán examinadas.

Se supone que el coeficiente produce el efecto de alterar los costos totales según el mismo factor que el cambio indicado en el coeficiente de almacenamiento. Se admite así que la distribución por tamaño de los lugares de almacenamiento para hacer frente a las necesidades estacionales es igual a la distribución para satisfacer las necesidades mínimas constantes. En las regiones que requieren un caudal inferior al promedio -es decir, O'Higgins-Colchagua y el sur- se aplicará el mismo procedimiento, en vez de "reajustar" la tabla. <sup>1/</sup>

Cuadro 30

RELACION HIPOTETICA ENTRE LA ALTURA Y EL VOLUMEN DE LOS EMBALSES

Volumen (millones de m <sup>3</sup> )	Altura (metros)
0 - 100	15
100 - 200	20
200 - 400	25
400 - y más	35

Pérdidas por evaporación del embalse

El estudio del Centro de Planeamiento no incluía en sus relaciones caudal-almacenamiento un ajuste que tuviera en cuenta el incremento neto de la evaporación de la cuenca atribuible a la mayor superficie de agua expuesta al aire a medida que aumenta el volumen de almacenamiento superficial. Se sabe relativamente poco sobre las relaciones que habría entre el funcionamiento de embalses y la superficie expuesta al aire. Las estimaciones de las tasas netas anuales de evaporación de las aguas superficiales en las regiones donde están situados los embalses fluctuarán probablemente entre 400 mm. en las pro-

<sup>1/</sup> Si se tratara de elaborar planes más completos, habría que tener en cuenta un nuevo ajuste no considerado, la evaporación adicional.

ximidades de Valdivia y 1 400 mm. o más aún en el Norte Grande.<sup>8/</sup> Para expresar las pérdidas potenciales por evaporación y el efecto sobre los costos marginales del caudal se supuso que la altura media del embalse guardaba relación directa con los volúmenes hasta un determinado punto (véase el cuadro 30) y que las tasas de evaporación eran las indicadas en el cuadro 31. Con estos valores hipotéticos, se redujo cada incremento del caudal mínimo en la cuantía de la evaporación adicional estimada para el almacenamiento.

Cuadro 31

TASA MEDIA ESTIMADA DE EVAPORACION

(Metros por metro cuadrado de superficie del embalse)

Provincia	Porcentaje	Provincia	Porcentaje
Tarapacá	1.4	O'Higgins-Colchagua	0.9
Antofagasta	2.5	Curicó-Linares	0.7
Atacama	1.2	Ñuble	0.6
Coquimbo	1.5	Concepción-Cautín	0.5
Aconcagua-Valparaíso	1.0	Valdivia-Llanquihue	0.4
Santiago	1.0		

Costos de regulación del caudal superficial

Basándose en las informaciones sobre los embalses construidos, en construcción y en estudio, los señores Ibáñez, Harboe y Poblete elaboraron las curvas de costo para las presas de escollera (rock-fill) y de tierra, que muestran los costos del agua embalsada en función del tamaño del embalse.<sup>9/</sup> Con estas curvas se estableció la tabla de costos del cuadro 32. Los valores elegidos para los embalses de tamaño más reducido tienden a acercarse a la curva correspondiente a las presas de tierra (cuyo costo es inferior) más que a la de las presas de escollera y coincide exactamente con la curva correspondiente a las presas de tierra para los embalses de tamaño mayor. Juzgando por la experiencia actual, los valores elegidos subestiman en 50 por ciento los costos de las grandes presas de escollera. Es difícil prever qué tipo de presa va a predominar en la construcción futura. Un factor favorable a las presas de tierra es que la arcilla tiende a resistir los daños ocasionados por los movimientos sísmicos mejor que una estructura más rígida. La mayoría de las presas construídas o que se encuentran en cualquier etapa de construcción son de tierra. Se emplea una misma curva de costo unitario en función del tamaño para todo el país.

Queda el problema de distribuir la capacidad futura entre los diversos tamaños de embalse. Es de suponer que no todos los embalses serán de mayor tamaño, puesto que la disponibilidad de emplazamientos, los lugares donde se usará el agua, el caudal del río, el grado de regulación ya logrado y el grado adicional de regulación apetecido variará de una cuenca a otra y hasta de un afluente a otro. Cabe presumir, en consecuencia, que

<sup>8/</sup> Cálculos no oficiales proporcionados por el Centro de Planeamiento.

<sup>9/</sup> Ibáñez, Harboe y Poblete, op. cit., gráfico 2, p. 39.

Cuadro 32

## TABLAS DE COSTOS UNITARIOS SEGUN EL TAMAÑO DEL EMBALSE

Embalse por tamaño (millones de m <sup>3</sup> )	Costo por cada 1 000 m <sup>3</sup> (E° de 1964)
A 0 - 49	200
B 50 - 99	150
C 100 - 199	100
D 200 - 399	80
E 400 y más	50

se construirán embalses de todos los tamaños a medida que aumenta la capacidad total. Naturalmente pueden postularse varias formas de crecimiento del almacenamiento total de una cuenca: 1) usando primero los lugares más grandes para embalses; 2) usando primero los más pequeños; 3) agregando nuevos embalses al azar o fundándose en estudios que no sigan un orden de tamaños. Aunque la Dirección de Riego parece estar siguiendo el tercer procedimiento, puede observarse la tendencia, en promedio, a aumentar el tamaño de los embalses por construir.

El tamaño medio de los 45 embalses construídos, en construcción y en estudio en 1958 varía como sigue:<sup>10/</sup>

	<u>Millones de m<sup>3</sup></u>
embalses construídos	31
embalses en construcción	450
embalses en estudio	310

De los 21 embalses en estudio en 1958, cinco tenían una capacidad inferior a 49 millones de m<sup>3</sup> y doce una capacidad inferior a 200 millones de m<sup>3</sup>. El mayor de los embalses en estudio tenía una capacidad de 2 750 millones de m<sup>3</sup> mientras que la capacidad del mayor embalse construído es de 150 millones de m<sup>3</sup> y la del mayor embalse en construcción de 1 570 millones de m<sup>3</sup>.

Nuestras curvas de costo sintéticas se elaboraron en forma intuitiva, suponiendo que se preferirían los embalses grandes cuando fuera conveniente, que a fin de alcanzar la capacidad necesaria para la regulación total se usarían embalses de todos los tamaños y que se aumentaría la capacidad de almacenamiento construyendo primero los embalses grandes y a continuación los pequeños.<sup>11/</sup> El orden hipotético en que se construirán los embalses de distintos tamaños tiene un efecto importante en la inclinación de la curva que describe el costo marginal del caudal mínimo. Esta curva aumentará en razón de la "productividad física marginal decreciente del almacenamiento", lo cual refleja el hecho de que se necesita cada vez mayor capacidad de almacenamiento para elevar el caudal mínimo mediante incrementos sucesivos. Si se supone, además, que los embalses construí-

<sup>10/</sup> CEPAL, *op. cit.*, pp. 65, 72.

<sup>11/</sup> Varios de los embalses más grandes que hay en Chile son lagos naturales con salidas reguladas. En la medida en que pudo identificárselos, fueron excluidos de la cifras medias indicadas.

Cuadro 33

## DISTRIBUCION HIPOTETICA DE LA CAPACIDAD DE LOS EMBALSES POR TAMAÑO

Cuando la regulación total requiere (millones de m <sup>3</sup> )	Distribución
0 - 49	Todos de tamaño A <sup>a/</sup>
50 - 399	Primer 50% de capacidad -C 25% siguiente -B Ultimo 25% -A
400 - 2 999	50% - E 20% - D 10% - C 10% - B 10% - A
3 000 o más	75% - E 15% - D 5% - C 3% - B 2% - A

a/ Véase en el cuadro 32 los tamaños y costos por unidad de capacidad.

dos "posteriormente" (es decir los más pequeños) costarán más por metro cúbico de capacidad que los construídos "anteriormente", (es decir, los más grandes), el costo marginal del caudal queda sujeto a un doble impulso ascendente. Nuestras curvas de costo se elaboran partiendo del supuesto de que este doble impulso prevalecerá y todas las cuencas usarán por lo menos algunos embalses pequeños si regulan el agua a plena capacidad. Para concretar estos supuestos, se dividió la capacidad total del embalse a plena regulación en cada cuenca entre los tipos de embalses de diferentes tamaños, según los valores especificados en el cuadro 33. Aplicando esta distribución a los costos unitarios indicados en el cuadro 32 pueden elaborarse para cada cuenca un conjunto de tablas que indican los aumentos del almacenamiento, los niveles sucesivamente superiores de caudal mínimo, los costos de los incrementos del almacenamiento, los costos de los aumentos del caudal y los costos acumulados.

Los costos de capital fueron convertidos en costos anuales suponiendo que el tipo de interés aplicable a un préstamo de valor real fijo (o uno para el cual la suma del capital estaría sujeta a revaluaciones cuando cambia el nivel de precios) sería 8 por ciento y que la vida útil de un embalse es de 50 años.<sup>12/</sup> Los resultados correspondientes a cada una de las regiones en que se dividieron los recursos hidráulicos figuran en los cuadros 1 al 11 del Apéndice.

El efecto del coeficiente de almacenamiento para atender a las necesidades estacionales en los costos de almacenamiento correspondientes a las seis regiones del norte en conjunto es insignificante. Los aumentos en las cuatro primeras regiones están ligeramente sobre compensados por las disminuciones en Aconcagua-Valparaíso y Santiago.

<sup>12/</sup> La distribución refleja burdamente lo que sucede en el país en conjunto luego de tener en cuenta los embalses construídos, en construcción y en estudio.

## Capítulo VI

### EFFECTOS DE LA ESCASEZ DE AGUA

Si se comparan las necesidades proyectadas de agua con los caudales naturales disponibles se llega a las tres conclusiones siguientes:

- 1) Si no se hace nada para modificar la variación estacional y anual de los caudales, habrá períodos de escasez en todas las regiones comprendidas entre Cautín y la frontera norte del país.
- 2) No hay manera de modificar la distribución de la actividad para superar la escasez de agua en el Norte ni la escasez de tierra arable (regable y no regable) en el sur. Podría pensarse en la desviación de agua de las regiones con excedente a las deficitarias. Cada región, desde Tarapacá hasta la provincia de Santiago inclusive (la cuenca Maipo-Mapocho), tiene un caudal medio inferior a las necesidades proyectadas. La primera región con excedente previsto es la de O'Higgins - Colchagua, con el río Rapel y otros de menor caudal, pero el excedente es inferior al déficit acumulado hasta ese punto, aun midiendo con moderación las necesidades. Tal sería, por ejemplo, si se procediese como en el caso I (captación municipal aguas abajo, más la agrícola que supere la descarga municipal, más todas las otras pérdidas) o como en el caso IV (suma de las pérdidas, más los caudales de dilución de excedentes con un tratamiento al 90 por ciento). Para equilibrar las disponibilidades de agua con las necesidades proyectadas habría que regular los ríos al máximo posible<sup>1/</sup> y realizar una serie de trasvases de agua hacia el norte, de una cuenca a otra. Estos trasvases serían comparables a desviar hacia el norte la mitad del caudal medio anual del Rapel, colmando además el déficit que se produciría en O'Higgins-Colchagua. El déficit acumulado, incluido el de la región O'Higgins-Colchagua, es de 252 millones de metros cúbicos al año en el caso I, de 1 083 millones en el caso III, y de 2 557 millones por concepto de pérdidas más dilución de desechos después de un tratamiento de 90 por ciento. Si las necesidades se miden únicamente por las pérdidas, sin dejar margen para la dilución de desechos, el excedente previsto de O'Higgins-Colchagua casi iguala al déficit acumulado hacia el norte.
- 3) Si no se hacen trasvases entre cuencas, no hay manera de alcanzar las producciones proyectadas, a menos que se eleve la productividad agrícola de la tierra más allá del incremento que hasta aquí se ha tomado como uno de los supuestos implícitos de este análisis.

---

<sup>1/</sup> Más adelante se describe la regulación necesaria. Sería preciso controlar los caudales para atender a la variabilidad estacional de las necesidades, lo que en la mayor parte de los ríos supone una capacidad de almacenamiento mayor de la que se requeriría para mantener caudales constantes conforme al promedio histórico.

Cuadro 34

## CASO I: COSTOS DE LA REGULACION DE CAUDALES CON 85 POR CIENTO DE SEGURIDAD

Provincia	Caudal necesario (millones de m <sup>3</sup> /año)	Almacenamiento (millones de m <sup>3</sup> )	Coeficiente de necesidades estacionales	Almacenamiento para necesidades estacionales (millones de m <sup>3</sup> )	Costo después de aplicar el coeficiente de almacenamiento (E° 1 000 - 1964)		
					Anual	Capital acumulado	Marginal a/
Tarapacá	311 <sup>b/</sup>	45	1.24	55	905	11 086	119
Antofagasta	103 <sup>b/</sup>	9	2.28	20	328	4 013	50
Atacama	439 <sup>b/</sup>	374	1.13	422	4 662	57 065	923
Coquimbo	1 766 <sup>b/</sup>	2 526	1.13	2 858	19 941	244 080	623
Aconcagua-Valparaíso	1 979 <sup>b/</sup>	2 552	0.95	2 413	16 997	208 050	457
Santiago	4 240 <sup>b/</sup>	3 385	0.92	3 114	17 904	219 144	108
<u>Subtotal</u>		<u>8 891</u>		<u>8 882</u>	<u>60 737</u>	<u>743 438</u>	
O'Higgins-Colchagua	4 557	1 075	1.85	1 990	8 123	99 438	2
Curicó-Linares	7 946	934	2.82	2 634	10 758	131 694	1
Ñuble	2 333	210	2.88	605	2 471	30 240	1
Concepción-Cautín	7 591	0		473 <sup>c/</sup>	1 932	23 650	d/
Valdivia-Llanquihue	56	-		-			
<u>Subtotal</u>		<u>2 219</u>		<u>5 702</u>	<u>23 284</u>	<u>285 022</u>	
Chiloe	7	-		0			
Aysén	11	-		0			
Magallanes	28	-		0			
<u>Total</u>	<u>31 367</u>	<u>11 110</u>		<u>14 584</u>	<u>84 021</u>	<u>1 028 460</u>	

a/ Por millón de m<sup>3</sup>/año de caudal.

b/ El caudal necesario es superior al caudal medio. El almacenamiento es para el caudal medio.

c/ Estimación separada del Centro de Planeamiento.

d/ El costo interpolado es inferior a E° 1 000.

Primera estimación de los costos de almacenamiento

La mayor aproximación posible al caso I, <sup>2/</sup> sin perturbar el panorama de actividad no agrícola previsto para 1985, consiste en imponer una regulación máxima en todas las

<sup>2/</sup> Recuérdese que los casos I, II, III y IV constituyen distintas formas posibles de estipular las necesidades de agua de una misma proyección económica: la tasa media de crecimiento de la población y la tasa alta de crecimiento del PNB (Media B). Las necesidades de agua de los cuatro casos se especifican en la siguiente forma (véase el capítulo IV, cuadro 25):

Caso I: Captación municipal y agrícola aguas abajo más todas las demás pérdidas.

Caso II: El caso I con captación en lugar de pérdidas para la minería.

Caso III: Pérdidas aguas arriba; toda la captación aguas abajo.

Caso IV: Pérdidas por evapotranspiración en todos los usos más dilución de desechos para obtener 4 mg/l de oxígeno disuelto después de eliminar el 90 por ciento de la DOB por tratamiento de desechos.

regiones desde Santiago hasta el límite norte<sup>3/</sup>. Se supone que en las demás regiones la regulación se desarrollará hasta las necesidades previstas. La insuficiencia de agua significará que en el norte quedará tierra regable sin regar.

El cuadro 34 muestra los costos de una regulación completa de todos los ríos en la parte norte del país -del Maipo al norte- y los costos de satisfacer las necesidades previstas en el resto (tomados de los cuadros del apéndice). También aparece el almacenamiento adicional que se requiere para satisfacer las necesidades estacionales.

En tales condiciones, la inversión total adicional correspondiente a los próximos veinte años, acumulada, es de unos 1 000 millones de escudos (unos 250 millones de dólares al cambio oficial de octubre de 1965), esto es, unos 50 millones de escudos por año<sup>4/</sup>. El costo anual equivalente de la inversión acumulada de capital (interés y amortización) para un desarrollo total sería de unos 84 millones de escudos.

La distribución de los costos totales entre las diversas regiones depende mucho de que se use o no el coeficiente de variación estacional. Sin este coeficiente, las regiones del Norte absorben el 87 por ciento de los costos totales, con el coeficiente, el Norte absorbe el 72 por ciento. Los costos marginales del agua, que tienen importancia para la planificación regional, son mucho más elevados en el Norte que en el Sur.

Como se prevé una escasez nacional de tierra (relativa a la expansión de la superficie cultivada necesaria para alcanzar las producciones previstas a las tasas actuales de producción por hectárea) y una escasez de agua en las siete provincias del Norte, sigue en pie la pregunta de cómo se han de utilizar la tierra y el agua disponibles. Una posibilidad sería conservar la mayor agricultura posible en el Norte, trasladando toda la demás actividad móvil a las regiones con excedente de agua. Si toda el agua de las provincias del Norte se usara en la agricultura, podrían abastecerse, aproximadamente hablando, las extensiones siguientes de tierra regada:

	<u>Hectáreas</u>
Tarapacá	3 620
Antofagasta	2 626 <sup>5/</sup>
Atacama	14 350
Coquimbo	57 000
Aconcagua-Valparaíso	93 300
Santiago	232 000
<u>Total</u> (cifras redondeadas)	<u>403 000</u>

<sup>3/</sup> Por "regulación máxima" se entiende la cantidad de almacenamiento que elevaría el caudal mínimo al promedio, suponiendo que el escurrimiento futuro duplicaría la experiencia del período registrado. Esto es también lo que se quiere indicar cuando se habla de regulación "completa" o "100 por ciento".

<sup>4/</sup> Compárese esta cifra con los 24 millones de escudos presupuestados por la Dirección de Riego en 1964 para construcción de embalses.

<sup>5/</sup> Toda la tierra regable. Quedaría alguna agua para otros usos.

Sabemos que, en general la producción por unidad de agua (pérdida o captación), medida por el valor agregado, es mayor en los productos no agrícolas que en los agrícolas, sobre todo si no se deja margen para diluir la descarga. Por lo tanto, si el agua se distribuye entre usos competitivos para elevar al máximo el producto bruto de la región, los usos no agrícolas desplazarán a los agrícolas. El mismo resultado suele ocurrir si el objetivo es elevar al máximo el empleo en una región. En tales circunstancias, suponiendo que todas las necesidades no agrícolas del caso I se satisfagan en las regiones escasas de agua y que los ríos se regulen totalmente, el agua que quedará para la agricultura permitirá regar unas 372 500 hectáreas. (En otras palabras, tomando como base el caso I para calcular las necesidades, la satisfacción de todas las no agrícolas significa no cultivar unas 30 500 hectáreas. Los casos II y III exigirían reducciones mayores de la superficie regada.)

### Restricciones basadas en el costo marginal del agua

Si el agua se explota totalmente en las siete provincias del Norte, los costos marginales del caudal regulado llegan a niveles muy altos. Es dudoso si la agricultura o la industria manufacturera estarían en condiciones de pagar tales costos. ¿Cuál sería entonces el efecto, para la distribución de la actividad económica, de cobrar por el agua un precio igual a su producto marginal? No existen los datos necesarios para responder a esta pregunta, pero es posible hacer conjeturas sobre esos resultados utilizando información indirecta.

Como no hay motivo para esperar que la productividad por unidad de agua sea muy diferente entre las regiones por lo que respecta a usos no agrícolas, no examinaremos más que los hechos relativos a la agricultura. No existen datos sobre la productividad marginal. Los precios relativos de la tierra agrícola constituirían un índice útil de la productividad en valor neto (reajustada según los costos de transporte), pero tampoco son conocidos tales precios. Se puede utilizar sin embargo, una escala de valores de tierra de la clase IIIr, publicada con fines impositivos, suponiendo que refleja los valores relativos de la productividad de una comuna a otra. (Los avalúos se fijan en ella por comunas.)

El promedio no ponderado del avalúo correspondiente a cada comuna se convirtió a una escala de valores por provincias y por regiones hidrológicas. La escala se basó en la tierra de la clase IIIr, por ser la más grande de las clases regadas y porque mantiene una relación constante con otras clases de tierra regada en cada comuna. Los valores más altos corresponden a las provincias de Aconcagua y Santiago. Como a estos valores se aplicaría un factor más de evaluación para tener en cuenta la calidad de los servicios de transporte, en los índices sólo se incluye parte de las características de ubicación, en cuanto difieren de las de productividad física. No se puede determinar hasta qué punto los avalúos reflejan cambios especulativos de valor, ocasionados por las perspectivas de que la tierra pase del uso agrícola al uso urbano.

Los índices de avalúo no corresponden muy de cerca a los costos marginales del agua que van implícitos cuando la regulación se hace llegar a los límites indicados en el cuadro 34. Los índices de avalúo probablemente revelan los precios relativos del agua que podrían pagar los propietarios de la tierra. Así, por ejemplo, suponiendo que el aprovechamiento pudiera continuar en forma económica hasta un desembolso marginal de 20 000 escudos por millón de metros cúbicos al año en la provincia de Santiago, podría



Cuadro 35

VALORES MEDIOS DE TIERRA DE LA CLASE IIIr PARA EL AVALUO Y REAJUSTE  
POR UTILIZACION DEL AGUA

Provincia	Promedio no ponde- rado de las comunas E°/ha a/	Indice de valores de la tierra		Indice de uti- liza- ción del agua (Santia- go = 100)	Indice del valor de la tierra reajustado según el índice de uti- lización del agua
		Indice (Santiago = 100)	Ponderado por la su- perficie regada		
Tarapacá	1 055	75	75	160	47
Antofagasta	1 065	75	75	160	47
Atacama	960	68	68	100	68
Coquimbo	1 065	75	75	100	75
Aconcagua	1 285	91	-	-	-
Valparaíso	1 090	77	-	-	-
<u>Aconcagua-Valparaíso</u>	-	-	<u>84</u>	<u>100</u>	<u>84</u>
Santiago	1 415	100	100	100	100
O'Higgins	1 120	79	-	-	-
Colchagua	977	69	-	-	-
<u>O'Higgins-Colchagua</u>	-	-	<u>74</u>	<u>100</u>	<u>74</u>
Curicó	839	59	-	-	-
Talca	701	50	-	-	-
Maule	384	27	-	-	-
Linares	587	41	-	-	-
<u>Curicó-Linares</u>	-	-	<u>46</u>	<u>98</u>	<u>47</u>
Nuble	631	45	45	64	70
Concepción	615	43	-	-	-
Arauco	227	16	-	-	-
Bío-Bío	524	37	-	-	-
Malleco	475	34	-	-	-
Cautín	418	30	-	-	-
<u>Concepción-Cautín</u>	-	-	<u>33</u>	<u>65</u>	<u>51</u>

a/ Servicio de Impuestos Internos, nuevos valores de la propiedad, cuadro 3 (Suplemento del diario El Mercurio, Santiago, 15 de agosto de 1965).

decirse que la inversión continuaría hasta un desembolso marginal de 15 000 escudos por millón de metros cúbicos al año en Tarapacá y Antofagasta, y hasta 7 600 escudos en Concepción-Cautín. La cantidad de agua necesaria por hectárea afectaría esta relación, moderándola si los insumos de agua están directamente relacionados con los valores de la tierra, y elevándola si la relación es inversa. Los resultados de estos reajustes aparecen en el cuadro 35. Los índices sólo deben considerarse a título ilustrativo. No tenemos información respecto a los factores que intervinieron en las evaluaciones primitivas, ni sabemos si se introdujeron distorsiones al obtener el promedio de los valores por comuna sin ponderarlos por la extensión de tierra correspondiente a cada comuna. La última columna muestra una interesante simetría de valores al norte y al sur de Santiago. El bajo valor de la región de Curicó-Linares, que es una desviación de esta simetría, refleja la depresión económica de esta región.

Falta saber qué valor puede asignarse al costo marginal del agua en Santiago, pues a base de él se determinarían los desembolsos marginales "razonables" en otros

Provincia	Caudal mínimo actual	Índice del valor de la tierra reajustado según la utilización del agua	Costo marginal del agua (E°/millones de m <sup>3</sup> /año)	Coeficiente de almacenamiento para necesidades estacionales	Costo marginal del caudal mínimo (E°/millones de m <sup>3</sup> /año)	Efecto del límite de costo marginal: en una situación					
						Almacenamiento en millones de m <sup>3</sup>	Caudal mínimo en millones de m <sup>3</sup> /año	Costo de capital (E° 1 000)		Costos anuales (E° 1 000)	
								Caudal mínimo	x coeficiente	Caudal mínimo	x coeficiente
Tarapacá	41	47	4 180	1.24	3 371	2	56	400	496	33	41
Antofagasta	81	47	4 180 <sup>a</sup>	2.28	2 684 <sup>a</sup>	1	88	236	538	19	43
Atacama	81	68	6 050	1.13	5 350 <sup>a</sup>	63	113	6 310	7 130	516	583
Coquimbo	199	75	6 680	1.13	5 910 <sup>a</sup>	665	601	33 250	37 573	2 717	3 070
Aconcagua-Valparaíso	373	84	7 480	0.95	7 870	919	1 093	45 950	43 653	3 754	3 566
Santiago	1 222	100	8 900	0.92	9 670	1 848	2 920	92 400	85 008	7 549	6 945
<b>Total</b>	-	-	-	-	-	<b>3 498</b>	<b>4 871</b>	<b>178 546</b>	<b>174 398</b>	<b>14 588</b>	<b>14 248</b>

a/ Véase la nota.

b/ Pasa del máximo; el almacenamiento y los costos se refieren al máximo. El agua disponible satisface un tercio de las necesidades no agrícolas; el resto se reduce a 2 630, como lo indica la última columna. El almacenamiento es para el caudal mínimo constante.

Nota: La relación entre el costo marginal bajo limitación y el caudal disponible se calculó en el supuesto de que la curva del costo marginal sea igual a cero al caudal mínimo actual y se eleve en forma lineal al primer punto del diagrama. Este es un supuesto simple y posiblemente incorrecto, y no se utilizó con respecto a Antofagasta, como se explicará luego. Parecía perfectamente razonable en cuanto a Coquimbo, porque el costo marginal bajo limitación era casi igual al costo marginal respecto al primer período de almacenamiento. Respecto a Atacama, el primer período da un costo marginal de 16 119 escudos por un millón de m<sup>3</sup> de caudal mínimo; pero si construimos los 6 400 000 metros cúbicos de almacenamiento calculados para elevar el caudal mínimo a 32

puntos. No habiendo estudios de beneficio-costos respecto a proyectos determinados, sólo puede aventurarse una conjetura. Suponiendo económicamente factible un desembolso marginal anual de 8 900 escudos anuales por cada millón de metros cúbicos,<sup>6/</sup> los valores marginales correspondientes a cada región, a base de los índices del cuadro 35, serían los que recoge el cuadro 36, en el que también aparece el grado de aprovechamiento medido por el caudal mínimo que ese costo marginal mantendría. En el citado cuadro 36 sólo se incluyen las provincias de Santiago al Norte ya que la limitación de costo marginal no tendría efecto hacia el Sur, pues permite almacenamientos mayores que los requeridos. Los caudales se han traducido al número de hectáreas que recibirían

<sup>6/</sup> Esta cifra, que corresponde al segundo tramo de la tabla de costos marginales del caudal (Cuadro 6 del Apéndice), sería unos 3.42 dólares por pie y por acre, convertido a razón de 3.2 dólares por escudo, que era el tipo de cambio oficial en 1964. Los agricultores también tendrían que pagar los costos de aducción del agua (canales, sifones, etc.) y los costos en el predio.

LIBRE EL COSTO MARGINAL DEL AGUA

Agricultura residual		Utilización de todo el caudal hasta la limitación marginal para la agricultura, más los usos no agrícolas del caso I									
Caudal para la agricultura una vez satisfechas las necesidades no agrícolas - caso I	Hectáreas servidas	Hectáreas servidas	Necesidades de caudal para usos no agrícolas del caso I (millones de m <sup>3</sup> /año)	Almacenamiento y costos basados en el caudal mínimo constante no reajustado según las variaciones estacionales					Extensión en hectáreas reajustadas según Antofagasta	Costos reajustados según coeficiente de almacenamiento (E° 1 000)	
				Caudal mínimo necesario (millones de m <sup>3</sup> /año)	Almacenamiento (millones de m <sup>3</sup> )	Costo de capital (E° 1 000)	Costo anual (E° 1 000)	Costo marginal anual por millón de m <sup>3</sup> /año		Capital	Annual
40	1 786	2 500	16	72	14	2 833	232	25 059	2 500	3 513	288
44	1 965	3 929	44	132 <sup>b</sup>	9	1 760	144	21 787	2 626	4 013	328
79	5 643	8 071	34	147	130	13 000	1 062	11 000	8 071	14 690	1 200
575	41 071	42 929	26	627	706	35 300	2 884	6 270	42 929	39 889	3 259
963	68 786	78 071	130	1 223	1 560	86 400	7 059	43 549	78 071	82 080	6 706
2 692	192 286	208 571	228	3 148	2 868	161 500	13 195	42 900	208 571	148 580	12 139
<u>4 393</u>	<u>311 537</u>	<u>344 071</u>	<u>478</u>	<u>5 349</u>	<u>5 287</u>	<u>300 793</u>	<u>24 576</u>		<u>342 768</u>	<u>292 765</u>	<u>23 920</u>

millones de m<sup>3</sup>/año, el costo medio anual por un millón de metros cúbicos de caudal adicional sería de 3 270 escudos. En todo caso, respecto a Atacama el supuesto que podemos interpolar linealmente es moderado, es decir, tiende a rebajar un gasto marginal dado.

Respecto a Antofagasta, si calculamos que el almacenamiento adicional para elevar el caudal de 81 a 88 millones de m<sup>3</sup>/año es de 1.15 millones de m<sup>3</sup>, y construimos esto al costo unitario más alto utilizado, o sea, 200 escudos por 1 000 m<sup>3</sup> de capacidad (ya que el embalse más grande que puede contener este almacenamiento necesario entra en la categoría de tamaño más pequeño), el costo medio anual por un millón de metros cúbicos de caudal anual agregado sería de 2 684 escudos. Esta cifra se adoptó como costo marginal del caudal. (Dentro de la limitación computada de 1 840 escudos sólo se proporcionaría el caudal mínimo.) Supusimos que el caudal se elevaría a la cifra indicada por un costo marginal de 2 684 escudos, interpolando en una curva de costo marginal la cual, se supone, se eleva linealmente de cero al caudal mínimo actual hasta el punto dado por el primer período en la tabla de costos. Más adelante se examina el comportamiento del costo marginal cuando el orden de tamaño de los embalses es todo lo contrario.

agua de riego con un 85 por ciento de seguridad, en la hipótesis de que se satisficieran primero las necesidades no agrícolas medidas por el caso I. Los costos de almacenamiento se han multiplicado por el coeficiente que representa el almacenamiento adicional para hacer frente a las variaciones estacionales de las necesidades.<sup>7/</sup>

Al introducir una limitación de costo marginal, aparecen los siguientes cambios en lo relativo a la regulación completa:

- 1) La regulación de los caudales se hará a niveles situados aproximadamente entre el 60 y el 90 por ciento de la regulación completa en las regiones donde,

<sup>7/</sup> La productividad marginal del agua, donde ésta claramente satisface una necesidad complementaria más que una necesidad permanente, puede ser mucho más alta de lo que revelan los valores comparativos de la tierra. Esta consideración es especialmente aplicable a las provincias del sur.

escasea el agua. (Compárense los caudales en los cuadros 28 y 36.)

- 2) La reducción de la extensión superficial regada (que se vió podía ser en las regiones escasas de agua de 372 500 hectáreas) es de unas 60 000 hectáreas, esto es, más o menos el 2.5 por ciento de la superficie regada en todo el país. La pérdida de superficie regada sería, como es lógico, relativamente más crítica por lo que respecta a la economía local. La reducción de la producción también sería relativamente mayor que la de la extensión regada.
- 3) El ahorro en costos de capital, una vez hechos los reajustes según el coeficiente de almacenamiento estacional, es de 570 millones de escudos, o sea, el 57 por ciento de los costos de aprovechamiento total. En las seis regiones del Norte, consideradas por si mismas, el ahorro es más o menos del 76 por ciento. El ahorro en costos anuales sería de unos 46 millones de escudos.
- 4) Los costos para pasar desde el nivel de aprovechamiento que representa la aceptación de las limitaciones de costos marginales del cuadro 36 al aprovechamiento total conforme al caso I, significarían un costo de capital por hectárea de nueva superficie regada de unos 9 500 escudos y un costo anual aproximado de 770 escudos. Estos no son sino costos de regulación y no incluyen los costos anuales en el predio (unos 500 escudos por hectárea, según Villarroel y Horn, p. 52) ni los costos de los canales de aducción (unos 40 a 50 escudos por hectárea, según Villarroel y Horn, una vez ajustados los escudos de 1962 a valores de 1964).
- 5) El límite de costo marginal escogido para la regulación del caudal, que fluctúa entre 8 900 escudos (de 1964) para Santiago y 4 200 para Tarapacá y Antofagasta, se compara muy favorablemente con los costos que significaron para la Dirección de Riego los embalses anteriores. A base de los datos que aparecen en el estudio de Villarroel y Horn, el costo anual de capital, calculado al 8 por ciento de interés y con 50 años de amortización, fluctuaba entre 67 escudos (1962) y 158 escudos por hectárea en los embalses anteriormente construidos por la Dirección de Riego. Estos valores se deberían duplicar para convertir a escudos de 1964 el nivel de precios en que se basan nuestros costos. Con respecto a Atacama, para la cual se fijó un costo marginal de 6 050 escudos por millón de metros cúbicos de caudal, esto significa (calculando a pérdida neta, ya que el caudal de retorno no se puede volver a usar) un costo anual de capital de unos 84 escudos por hectárea, cifra que es baja si se la compara con inversiones anteriores convertidas a precios de 1964. Los límites de costo marginal del cuadro 36 parecen verosímiles si se admite que los costos medios históricos no difieren materialmente de los costos marginales históricos.

Es posible construir modelos de utilización del agua partiendo de otros supuestos. ¿Qué consecuencias tendría, por ejemplo, regular el agua en cada región sólo hasta el nivel en que el caudal regulado nunca fuese inferior al que hay disponible el 50 por ciento del tiempo, o bien, a la mitad del caudal medio anual? En cualquiera de estos dos casos, el grado total de regulación sería menor que el dado por el límite de costo marginal que se usa en el cuadro 36.

Es interesante imaginar qué efectos experimentarían los costos totales del agua

si el crecimiento previsto de la actividad municipal o manufacturera en las regiones donde escasea el agua se trasladará a las regiones donde hay excedente. También habría que determinar el grado de aprovechamiento del agua por la agricultura, para averiguar el ahorro en los costos del agua utilizada por la actividad no agrícola desplazada en las regiones escasas de agua. En realidad, el mayor desarrollo posible de la actividad en una región escasa de agua, dados los objetivos nacionales de producción, se pueden justificar "asignando" la mayor cantidad posible de agua de alto costo a los usuarios no agrícolas en los casos en que los costos del agua son una parte relativamente pequeña de los costos totales y es posible adoptar técnicas de economía del agua a costos que no sean prohibitivamente elevados. Cabe suponer, por lo tanto, que si el nivel de aprovechamiento agrícola es dado por los costos marginales del agua que aparecen en el cuadro 36, el uso no agrícola del agua se satisface mediante incrementos más costosos del abastecimiento por encima del costo marginal indicado. Con esta base es posible determinar los costos para los usuarios no agrícolas, así como los ahorros en los gastos por concepto de agua si la actividad no agrícola se traslada a regiones de menores costos del agua.

Según el caso I, que supone la máxima recirculación en el uso del agua no agrícola, las necesidades de caudal para fines no agrícolas en las seis regiones del Norte ascienden a 478 millones de metros cúbicos por año. El suministro de este caudal en las regiones donde se prevén tales usos (salvo en Antofagasta, donde la regulación máxima no alcanzaría a satisfacer las necesidades previstas) exigirían otros 122 millones de escudos en desembolso inicial de capital y unos 10 millones de escudos en costo anual equivalente, además de los costos que requiere mantener caudales sujetos a la limitación de costo marginal, y de los cuales tendría que salir el agua para satisfacer las necesidades no agrícolas. Los cálculos pueden verse en el cuadro 36, segunda alternativa.<sup>8/</sup>

El cuadro 36 muestra también que, en las regiones nortinas tomadas en conjunto resulta insignificante el efecto de reajustar el almacenamiento previsto para atender las necesidades estacionales. Las necesidades aumentan en Tarapacá, Antofagasta, Atacama y Coquimbo, pero se reducen en Aconcagua-Valparaíso y Santiago. El efecto neto es una reducción total aproximada al 2.5 por ciento con respecto al almacenamiento destinado a mantener un caudal constante. Un efecto de mayor importancia, que debería incluirse en estudios más detallados, es el aumento de la evaporación que se ha de tener en cuenta (especialmente en Antofagasta donde son altas las tasas de evaporación y grande el coeficiente estacional) y agregarse a la regulación que requieren las necesidades estacionales.

---

<sup>8/</sup> Téngase presente, al examinar el cuadro 36, que ni la curva de almacenamiento de caudal ni la forma de la curva de costo marginal del caudal están bien establecidas en el extremo inferior de la escala, especialmente en lo relativo a caudales con una seguridad de 85 por ciento, ya que con respecto a éstos el Centro de Planeamiento proporcionó menos puntos con que construir una curva de almacenamiento de caudal. Al aplicar la idea de una limitación de costo marginal, supusimos que la curva de costo marginal daba 0 para un incremento del caudal mínimo existente igual a 0 y que la curva se elevaba linealmente desde este punto. Si en realidad el movimiento de la curva de costo marginal es discreto y el primer incremento de la regulación indica que los costos marginales tienen un valor mínimo que sobrepasa los valores sujetos a limitación del cuadro 36, entonces resultan exagerados los caudales que indica dicho cuadro. En cada cuenca en que el costo marginal sujeto a limitación sea inferior al costo marginal mínimo que experimentaría la primera unidad de almacenamiento, el caudal indicado tendría que ser sustituido por el caudal mínimo existente.

El efecto de entregar a la agricultura todo el caudal suministrado por el almacenamiento, después de introducir las limitaciones de costo marginal del cuadro 36, significa que los costos marginales del agua para usos no agrícolas fluctuarían entre 6 000 y 44 000 escudos<sup>9/</sup> por millón de metros cúbicos al año, según sea la región hidrológica. Antofagasta es la única provincia que agotaría sus disponibilidades de agua antes de satisfacer todas las necesidades previstas, lo que implica una reducción de la superficie regada por debajo de la extensión prevista.

Cuadro 37

EXTENSION EN HECTAREAS, REGADA Y DE RIEGO PREVISTO

Provincia	Regada 1959 a/	Superficie regable (proyec- ción bá- sica)	Caso I Regula- ción to- tal	Caso IIIr Regula- ción to- tal	Limitación de costo marginal		
					Agricultu- ra resi- dual	Usos no agrícolas más allá de la limi- tación re- sidual	Si toda el agua se dedica al riego
Tarapacá	7 000	10 773	2 900	2 680	1 786	2 500	3 620
Antofagasta	4 200	2 626	2 626	0	1 965	2 626	2 626
Atacama	26 081	27 288	11 930	8 390	5 643	8 071	14 360
Coquimbo	107 081	113 023	55 140	53 930	41 071	42 929	57 000
Aconcagua-Valparaíso	92 062	128 641	84 000	55 140	68 786	78 071	93 290
Santiago	228 412	283 852	215 860	215 860	192 286	208 571	232 140
<u>Subtotal</u>	<u>464 836</u>	<u>566 203</u>	<u>372 456</u>	<u>335 900</u>	<u>311 537</u>	<u>342 768</u>	<u>403 036</u>
O'Higgins-Colchagua	249 810	322 394	322 394	322 394	322 394	322 394	322 394
Curicó-Linares	395 778	558 457	558 457	558 457	558 457	558 457	558 457
Ñuble	100 000	260 415	260 415	260 415	260 415	260 415	260 415
Concepción-Cautín	178 600	799 960	799 960	799 960	799 960	799 960	799 960
Valdivia-Llanquihue	-	-	-	-	-	-	-
<u>Total</u>	<u>1 389 084</u>	<u>2 507 429</u>	<u>2 313 682</u>	<u>2 277 126</u>	<u>2 252 763</u>	<u>2 283 994</u>	<u>2 344 262</u>

a/ CORFO, datos inéditos.

Este nivel de riego reducido es lo que se supone en el cuadro 34, caso I (sin limitación de costo marginal), nivel que queda entre las dos situaciones descritas en el cuadro 36 (limitación del costo marginal). La superficie total en Antofagasta bajaría a 2 626 hectáreas, reduciendo el total de la región nortina en 1 300. Parece razonable una cifra redonda de 343 000 hectáreas provistas de agua para regadío en las provincias del Norte, desde el punto de vista de una limitación de tierra y estimaciones (muy burdas) de los costos marginales del agua.

<sup>9/</sup> Estos son precios equivalentes a una fluctuación entre 2.31 y 17.50 dólares por pie y por acre a los tipos de cambio oficial de 1964, o entre 0.7 y 5.5 centavos por cada millar de galones, precios que estarían al alcance económico de los usuarios municipales en general, aun con los costos adicionales de purificación y aducción que habría que pagar. Además, los altos costos marginales están en las regiones de Aconcagua-Valparaíso y Santiago, las dos más urbanizadas y, en vista de la concentración de actividad urbana, más capaces de sobrellevar costos del agua relativamente elevados.

Cuadro 38

## COMPARACION DE PRODUCCIONES Y COSTOS DEL AGUA EN VARIAS PROYECCIONES PARA LA AGRICULTURA, 1985

Proyección	Producción (quintales en equivalente de trigo)	Costos anuales de regulación de los ríos (miles de escudos de 1964)
Básica: Toda la tierra regable	62 683 078	Más allá de los límites de la disponibilidad de agua, sin trasvases entre cuencas
Caso I: Regulación completa	57 892 352	84 021
Caso I: La agricultura recibe agua hasta el costo marginal determinado	57 102 823	47 204
Caso I: Todos los usuarios reciben agua hasta el costo marginal determinado, pero las necesidades agrícolas se satisfacen después de las no agrícolas	56 404 210	37 532

El significado de esta reducción de superficie regada es bastante mayor cuando se convierte en producción agrícola. (Véase el cuadro 38.) Si se proveyera de agua a toda la tierra regable, la producción estimada (a las tasas actuales de producción por hectárea) sería de unos 48.9 millones de quintales en equivalente de trigo y la producción de la tierra arable de secano sería de 13.8 millones de quintales, lo que hace un total de 62.7 millones de quintales en equivalente de trigo. Si la agricultura se extiende en todas las regiones escasas de agua hasta absorber toda el agua disponible después de satisfacer las necesidades no agrícolas previstas según las condiciones del caso I, la producción disminuiría en 4.8 millones de quintales en equivalente de trigo, lo que supone una reducción del 8.3 por ciento. Si la superficie regada se redujera aun más por una limitación de costo marginal, entregando a la agricultura toda el agua hasta las cantidades suministradas dentro de la limitación, la producción total bajaría en 800 000 quintales más, quedando en un total de 57 millones de quintales en equivalente de trigo.<sup>10/</sup> Si suponemos que la limitación del costo marginal se aplica a toda el agua y que la agricultura recibe lo que queda después de satisfacer las necesidades no agrícolas del caso I, la producción total en las regiones del Norte disminuiría en 700 000 quintales. En los últimos casos, si cargáramos todos los costos de la regulación a la agricultura, lo que es una medida extrema, el costo medio del almacenamiento sería de 12.5 escudos por quintal en equivalente de trigo. Con una regulación total y la misma distribución supuesta del costo, el costo medio sería de 15.3 escudos por quintal. El costo marginal del agua, expresado en función de la producción agrícola, aumenta rápidamente si vamos de un suministro con limitación de costo a una regulación completa. Al pasar de la situación en que la agricultura recibe un residuo del abastecimiento con limitación de costo a aquella otra en que recibe la totalidad, el costo del agua por quintal marginal en equiva-

<sup>10/</sup> Un ejemplo de reajustes puede verse en el cuadro 38. La producción de la tierra no regada aumenta a medida que la superficie regable se convierte en tierra de secano.

lente de trigo es de 13.8 escudos; al pasar a la regulación total, el costo del agua por quintal en equivalente de trigo se eleva a 46.6 escudos.<sup>11/</sup>

Con los datos disponibles es muy difícil saber cuánta producción se obtiene de la tierra regada de la parte norte del país (de Santiago al Norte), ya que la superficie que aparece como "regada" no produce necesariamente en forma tan eficaz como otra que disfrute de agua con un 85 por ciento de seguridad, que es la seguridad implícita en las cifras del almacenamiento previsto. De ahí que los niveles presuntos de producción actual en quintales equivalentes de trigo constituyan una medida que debería ser abandonada en la primera oportunidad y sustituida por algo mejor. El empleo de tales valores arbitrarios para determinar la producción actual (1959) es probablemente más engañoso que si se usan para comparar un modelo hipotético con otro en que las modificaciones relativas sean bastante significativas para mantener el interés por el modelo, aún siendo incorrectos los valores absolutos. Según todos los modelos del caso I, sean con regulación completa o con limitación de costo, la superficie regada total en las seis regiones nortinas bajaría con respecto a las cifras de 1959. Es probable que la producción se elevara tan sólo en razón de la mayor seguridad de agua, pero sin mayor información no podemos decir en cuánto. Por este motivo tampoco podemos indicar cuáles serían los cambios marginales de la producción (con respecto a sus niveles actuales) como resultado de determinados niveles de gastos en la regulación de los ríos. Es imperiosa la necesidad de tal información. Por ahora supondremos que alguno de nuestros modelos con limitación de costo podrá someterse a la prueba de la viabilidad económica.

A pesar de las reservas con que debemos mirar la medición de la producción actual de tierra de secano y tierra regada, continuaremos usándola. El lector recordará que el aumento previsto de la demanda de productos agrícolas sobre el nivel actual, a base de las tasas de crecimiento de la hipótesis media B, eran las siguientes:

	<u>Porcentajes</u>
Aumento de la demanda sin variación del saldo de importación	118
Aumento de la producción para eliminar las importaciones sustituibles	14
Aumento previsto total sobre el nivel actual	132

La producción actual se estimó en 53.5 millones de quintales en equivalente de trigo. A fin de satisfacer las necesidades previstas, la producción en 1985 debe ser igual a 124.12 millones de quintales. Si Chile aprovecha todos sus ríos hasta el límite teórico, la producción sería de 57.9 millones de quintales a las tasas actuales de productividad por hectárea. La producción por hectárea debería elevarse 2.14 veces para que se satisficieran las necesidades previstas. Si Chile aplica la limitación de costo marginal que hemos empleado en nuestras ilustraciones y la agricultura es colocada en una posición residual (es decir, que se satisfagan primero y por completo las necesidades no agrícolas de agua), la producción total sería de 56.4 millones de quintales. La productividad por hectárea tendría que elevarse entonces 2.22 veces. La diferencia entre estas diversas políticas con respecto al agua tendría un efecto mínimo sobre el aumento

---

<sup>11/</sup> En 1964, el precio medio del trigo al por mayor fue de unos 21 escudos por quintal. No se sabe qué fracción representan los costos del agua, pero debe haber sido muy pequeña. Es probable que, con pequeñas variaciones, se mantuviera un desembolso comparable por concepto de agua para otros productos, una vez expresado como "equivalente de trigo".



necesario de la productividad. Se podrían formular otras políticas en lo relativo al agua, pero los resultados para el aumento necesario de la productividad no serían muy diferentes de los ya indicados. En resumen, si Chile no duplica con creces la producción por hectárea, no podrá alcanzar sus objetivos de producción, aun cuando se tomen todas las medidas para ampliar la superficie de tierra regada.

También es interesante otra conclusión que se puede deducir de los cálculos. La diferencia en los costos anuales del agua, entre la completa utilización y la limitación del costo marginal, es de unos 46.5 millones de escudos. Esta cantidad, a la que deben agregarse los costos de aducción y gastos en el predio que supone el regadío de una mayor extensión de tierra, es una posibilidad; la otra es elevar la producción por hectárea de 2.14 a 2.20 veces su nivel actual, es decir, una alternativa al costo marginal de elevar la producción por hectárea en un 4 por ciento más después de haberse duplicado.

Una observación final. El agua disponible para la agricultura, en el supuesto de una regulación completa, después de satisfacer las necesidades no agrícolas del caso I (perdiéndose toda la captación de aguas abajo), es casi la misma si la agricultura recibe toda el agua después de aplicar la limitación del costo marginal. La producción y los posibles aumentos de productividad quedan entre los casos que se acaban de examinar.

Las consecuencias económicas de estos arreglos se pueden expresar en forma simple:

- 1) Es imposible regar toda la tierra regable sin trasvases de agua de una cuenca a otra (dados los coeficientes utilizados).
- 2) La regulación completa en las condiciones del caso I, asignando a la agricultura el agua que queda disponible después de satisfacer las necesidades no agrícolas, permitiría una producción de 57.9 millones de quintales en equivalente de trigo, a un costo anual total por regulación de ríos de 84 millones de escudos (a precios de 1964) y una inversión acumulada de capital de 1 000 millones de escudos.
- 3) La imposición de una limitación de costo marginal a las condiciones del caso I, asignando a la agricultura toda el agua disponible dentro de los límites dados (excepto en Antofagasta donde se reducen los usos agrícolas en vista de que las necesidades no agrícolas superan al saldo), permitiría una producción total de 57.1 millones de quintales en equivalente de trigo, a un costo anual total por regulación de ríos de 47 millones de escudos y una inversión acumulada de 600 millones de escudos. (Véase el cuadro 39.)

El ahorro de 36.8 millones de escudos (1964) va acompañado por una reducción de la producción agrícola de 788 130 quintales en equivalente de trigo. Esto vale tanto como decir que la ampliación de la superficie regable al límite máximo de escurrimiento (con una seguridad de 85 por ciento) supone un costo del agua de 46.6 escudos por quintal en equivalente de trigo. Dada la estructura de precios agrícolas y no agrícolas, tanto en Chile como en el resto del mundo, la ampliación de la superficie regable hasta el límite de la regulación completa no tiene justificación.

Al adoptar los costos marginales del agua que se hallan implícitos cuando las necesidades no agrícolas se satisfacen después que la agricultura recibe toda el agua

Cuadro 39

## COSTOS DE ALMACENAMIENTO EN DISTINTOS MODELOS CON COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO

(Miles de escudos)

	Anuales			De capital		
	Caso I (Regu- lación comple- ta)	Limitación de costo marginal		Caso I (Regu- lación comple- ta)	Limitación de costo marginal	
		Agricul- tura to- tal	Agricul- tura re- sidual		Agricul- tura to- tal	Agricul- tura re- sidual
Subtotal de las 7 provincias del Norte	60 737	23 920	14 248	743 438	292 765	174 398
Subtotal de O'Higgins - Llanquihue	23 284	23 284	23 284	285 022	285 022	285 022
<u>Total</u>	<u>84 021</u>	<u>47 204</u>	<u>37 532</u>	<u>1 028 460</u>	<u>577 787</u>	<u>459 420</u>

hasta la limitación del costo marginal, podrá determinarse el ahorro que se obtendría trasladando la actividad no agrícola de las regiones escasas de agua a las regiones con excedente. Como no se sabe exactamente lo que es susceptible de traslado y lo que no puede trasladarse, es de presumir que se podría hacer pasar a otra región la mitad de las necesidades no agrícolas de las cuatro provincias nortinas y los tres cuartos de las de Aconcagua-Valparaíso y Santiago<sup>12/</sup>. El total de necesidades movibles de agua, calculadas de esta manera, sería de 329 millones de m<sup>3</sup>/año. Esta cantidad se podría proporcionar a un costo 0 de regulación, con una seguridad de 85 por ciento (o más) en la región de Valdivia-Llanquihue y a costos marginales relativamente bajos (más o menos entre 1 000 y 4 000 escudos por millón de metros cúbicos anuales) en las demás regiones. Los costos marginales de almacenamiento del agua desplazada en las regiones nortinas fluctúan, en este modelo, entre 6 270 y 43 549 escudos por millón de metros cúbicos anuales. En las seis regiones en conjunto, el ahorro podría ser de unos 12.5 millones de escudos (a precios de 1964) anuales<sup>13/</sup>, de cuya suma 11.5 millones se obtendrían en las regiones de Aconcagua-Valparaíso y Santiago. Al tipo oficial de cambio de 1964, esto equivale a unos 3 millones de dólares anuales, suma que parece relativamente pequeña en comparación con los radicales desplazamientos de población y actividad que lleva implícitos tal política. Sin embargo, si a los costos de regulación se agregan los de un tratamiento de alto grado, aumentan considerablemente los ahorros en el costo del agua que se obtendrían trasladando la actividad urbana a las regiones con excedente de agua.

La hipótesis de desplazar fuera de Valparaíso-Santiago tres cuartos de la actividad no agrícola entraña una disminución de la población con respecto al nivel actual. Dejando el desplazamiento en el 50 por ciento, se mantendrían los niveles actuales de población y actividad urbana, ya que la población urbana de Santiago prevista para 1985 es aproxi-

<sup>12/</sup> Acaso sea ésta una hipótesis extrema, dada la actual preferencia de los chilenos por vivir en Santiago. Pasamos por alto el problema de que se genere una capacidad excesiva de servicios generales en la región perdedora y haya una escasez de tales servicios en la región ganadora.

<sup>13/</sup> Sin considerar los costos locales de distribución y tratamiento. Si en el Norte se requieren costos de transmisión a larga distancia, como ocurre en algunos casos, esto debería agregarse, pues tal cosa no sería necesaria en el Sur.

madamente el doble de la actual. El grado más extremo de ahorro potencial se encuentra trasladando toda la actividad removible a la región de Valdivia-Llanquihue, donde las exigencias agrícolas<sup>14/</sup> son insignificantes o nulas y las necesidades no agrícolas previstas fluctúan, según sea el modelo que se acepte, entre 56 y 186 millones de metros cúbicos. El caudal igualado o superado 95 por ciento del tiempo<sup>15/</sup> es en esa zona de 22 088 millones de metros cúbicos por año y la capacidad de almacenamiento necesaria para elevar al 100 por ciento el grado de seguridad de ese caudal sería de 475 millones de metros cúbicos<sup>16/</sup>.

Si las necesidades de dilución de desechos son proporcionales al uso no agrícola del agua, cabe inferir que, con un tratamiento de 0, las necesidades de caudal para dilución de desechos en las seis regiones del Norte serían de unos 11 000 m<sup>3</sup> por año. Esta cantidad, más las necesidades de captación de 239 m<sup>3</sup> por año (la mitad de las necesidades no agrícolas previstas del caso I) está muy dentro de la capacidad de la región de Valdivia-Llanquihue, a un costo 0 de regulación y con 95 por ciento de seguridad. En consecuencia, además de ahorrar 8.7 millones de escudos (menos de los 13 millones de escudos mencionados más arriba, porque sólo se desplaza la mitad del uso no agrícola del agua de las regiones Aconcagua-Valparaíso y Santiago), se ahorrarían otros 22.7 millones de escudos (incluidos los costos de recolección) por gastos de tratamiento al 90 por ciento<sup>17/</sup>. Por consiguiente, el ahorro total sería de unos 31.4 millones de escudos, esto es, unos 8 millones de dólares por año. El ahorro acumulado de capital sería del orden de 100 millones de dólares, ya que se supone que los costos anuales son el 8.17 por ciento de los costos de capital.

El ahorro neto (y anual) de capital sería algo menor debido a los mayores costos de vivienda que resultarían por la temperatura media invernal algo más baja y las precipitaciones mucho mayores. Podría haber un cambio neto en los costos de transporte, pero no sería prudente considerarlo positivo o negativo sin una investigación más profunda. También podría haber un cambio neto en los costos por habitante de otros servicios urbanos, pero tampoco se puede determinar la dirección y magnitud de la diferencia sin un nuevo estudio. La posibilidad de ahorrar una suma de capital de unos 377 millones de escudos en costos del agua (regulación del abastecimiento más tratamiento) a lo largo de los próximos veinte años es bastante atrayente, sin embargo, para que valga la pena seguirla estudiando. Chile podría decidir que las ventajas de vivir en la zona Valparaíso-Santiago valen los costos (sea en forma de costos de capital para proporcionar una cantidad suficiente de agua de calidad satisfactoria, o en forma de desmejoramiento de la calidad del agua y de la seguridad de abastecimiento), pero las ventajas de invertir esta elevada suma en otras actividades posibles también son atrayentes.

---

<sup>14/</sup> El estudio fotogramétrico muestra 16.4 hectáreas regadas en Osorno, 0.7 en Llanquihue y 541.4 de clasificación mixta en Osorno. Suponemos que en estas tres provincias (Valdivia, Osorno y Llanquihue) no hay demanda de riego.

<sup>15/</sup> Según lo define el Centro de Planeamiento (véase *supra*).

<sup>16/</sup> Ibañez, Harboe y Poblete, *op.cit.* En las seis regiones nortinas, en cambio, se necesitarían 3 500 millones de metros cúbicos para elevar el caudal mínimo a 4 871 millones de metros cúbicos por año con un 85 por ciento de seguridad.

<sup>17/</sup> El ahorro en un tratamiento de 35 por ciento sería de 12.8 millones de escudos; pero como Santiago representa el 84 por ciento de los costos de tratamiento y, dada su situación en el interior, parece inminente un alto grado de tratamiento, es más razonable suponer el 90 por ciento.

## Capítulo VII

### LA CUESTION DE LA CALIDAD DEL AGUA

Se señaló en el capítulo anterior que si la calidad del agua llegara a suscitar tanta preocupación que fuese necesario fijar una norma, explícita o implícita, ya sea por zonificación u otro tipo de regulación, se podrían lograr ahorros considerables provocando la migración de la actividad no agrícola de las regiones escasas de agua a aquellas otras que tienen excedente, especialmente a ciudades situadas en estuarios, como Valdivia y Puerto Montt. Sin embargo, en esta región del Sur, a la que se agrega la provincia de Cautín, inmediatamente al norte de Valdivia, es donde puede ser de la mayor importancia mantener la calidad del agua fluvial. Allí se encuentra la famosa región chilena de los lagos, uno de los mejores lugares del mundo para el deporte de la pesca de agua dulce. Es cierto que los ríos de esa región pueden absorber cierta cantidad de desechos, pero su belleza natural quedaría menoscabada si aumentase apreciablemente la actividad productora de desechos junto a sus riberas, aunque el tratamiento alcanzara alto grado. Por este motivo y porque plantea obstáculos formidables la inversión de la extrapolación "natural" de acontecimientos del pasado al futuro, implícita en esa redistribución de población, volveremos a nuestras hipótesis básicas, con las modificaciones del caso I, para examinar las condiciones en que se puede mantener la calidad del agua. Limitaremos nuestro análisis al mantenimiento de la calidad a un nivel de 4 miligramos de oxígeno disuelto por litro de agua.<sup>1/</sup> Las necesidades por concepto de contaminación y dilución después del tratamiento se calcularon partiendo de coeficientes basados en estudios referentes a los Estados Unidos.

Los costos de tratamiento se calcularon según datos correspondientes a los Estados Unidos, aunque reduciéndolos en 50 por ciento para armonizar con ciertos indicios respecto de los costos de construcción en Chile en comparación con los Estados Unidos.<sup>2/</sup> Los mismos costos de tratamiento se han calculado para niveles de tratamiento de 35, 70 y 90 por ciento de eliminación de DOB (demanda de oxígeno bioquímico). Sólo se asignaron costos de recolección al tratamiento municipal, y se supone que su cuantía es la mitad de la cifra por habitante que en los Estados Unidos. También se supone que los costos anuales se basan en un tipo de interés de 8 por ciento, en vez del 2.5 admitido en los Estados Unidos.

---

<sup>1/</sup> El uso de 4 mg/l de oxígeno disuelto es arbitrario. Si nuevos estudios demuestran que a los fines de la planificación conviene un contenido menor (o mayor) de oxígeno, no sería difícil cambiar todas las cifras de caudal y de costo que correspondan.

<sup>2/</sup> Según Walter A. Castagnino, Asesor en Ingeniería Sanitaria de la División de Recursos Naturales de la CEPAL, los costos de capital de las instalaciones de tratamiento primario y secundario son de unos 37.50 dólares por habitante en los Estados Unidos y de unos 20 dólares en Chile.

Cuadro 40

## COSTOS DE TRATAMIENTO POR EQUIVALENTE DE POBLACION MUNICIPAL E INDUSTRIAL

Eliminación de DOB	Estados Unidos (Sudoeste)			Chile						
	Costos anuales sin re colec ción(dó lares de 1960)	Costos de capi tal sin recolec ción (1) x 22.22 (dóla- res de 1960)	Costos municipales sin re colec ción(2) x 0.0817 (dólares de 1960)	Costos de re colec ción (dóla res de 1960)	Costo muni- cipal anual total (dóla res de 1960)	Costo muni- cipal anual total (E° de 1964 (5) x 1.6 b/	Costos indus triales anuales (2) x 0.0937 (dóla res de 1960)c/	Costos indus triales anuales (E° de 1964 (7) x 1.6	Costos de re colec ción(4) x 1.6 (E° de 1964)	Costos municipales anuales sin re colec ción(6) - 9) (E° de 1964)
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
35	0.67	14.89	1.22	1.30	2.52	4.03	1.40	2.24	2.08	1.95
70	1.22	27.11	2.21	1.30	3.51	5.62	2.54	4.06	2.08	3.54
90	1.64	36.44	2.98	1.30	4.28	6.85	3.41	5.46	2.08	4.77

a/ 8 por ciento de interés y 50 años de amortización.

b/ Al tipo de cambio oficial promedio en 1964 (3.2 escudos por dólar). Se supone que en los Estados Unidos los costos son el doble que en Chile.

c/ 8 por ciento de interés y 25 años de amortización.

Los costos de mantener la calidad del agua son la suma de los costos de tratamiento y de los costos de los caudales de dilución de desechos, esto es, los costos de mantener un caudal mayor que el necesario para cubrir las captaciones o pérdidas. A fin de estimar estos costos en forma moderada (por ejemplo, adoptando un modelo en que los costos marginales de caudal serían los más bajos posibles), se basaron todas las estimaciones en la variante de limitación de costo marginal del caso I, en la cual la agricultura sólo recibe el residuo de las aguas una vez satisfechas las necesidades no agrícolas.

Para obtener el máximo provecho de un caudal determinado, se supone que toda el agua no consumida aguas arriba está disponible para dilución de desechos y para captación aguas abajo. Por consiguiente, al mantenimiento de la calidad sólo debe cargarse el exceso de la dilución de desechos sobre la captación aguas abajo. (Al calcular las pérdidas y la superficie regada aguas arriba se supone asimismo que toda la agricultura se encuentra aguas arriba, ya que una cantidad limitada de agua alcanzará para más si las zonas regadas están suficientemente aguas arriba para permitir la recuperación del caudal de retorno.)<sup>3/</sup>

<sup>3/</sup> En las regiones del norte es probable que el caudal de retorno del riego contenga minerales disueltos. Puede que exageremos, por lo tanto, la posible utilidad del agua aguas abajo, tanto para usos agrícolas como no agrícolas. Nuevos estudios pueden revelar que se obtiene un cuadro más exacto partiendo de la hipótesis de que todo el riego ocurre aguas abajo, es decir, que se pierde toda la captación.

Cuadro 41

CASO I (AGRICULTURA RESIDUAL): COSTOS ESTIMADOS DE MANTENIMIENTO DE LA CALIDAD  
(4 mg/l DE OXIGENO DISUELTO) SEGUN LA HIPOTESIS MEDIA B, 1985

(Miles de escudos)

Provincia	Costo anual de tratamiento (excluidos los costos de recolección)			Costo anual adicional del caudal			Costo anual de tratamiento para mantener la calidad más caudal		
	35%	70%	90%	35%	70%	90%	35%	70%	90%
Tarapacá	55	100	134	a/	109	0	a/	209	134
Antofagasta	376	682	919	a/	a/	(138)a/	a/	a/	1 057
Atacama	310	563	758	a/	a/	774	a/	a/	1 532
Coquimbo	366	665	896	a/	3 909	376	a/	4 574	1 272
Aconcagua-Valparaíso	1 078	1 957	2 636	a/	a/	1 446	a/	a/	4 082
Santiago	11 457	20 793	28 008	a/	a/	(11 900)a/	a/	a/	39 908
O'Higgins-Colchagua	949	1 722	2 320	2 987	1 314	456	3 936	3 036	2 776
Curicó-Linares	1 130	2 051	2 762	1 875	0	0	3 005	2 051	2 762
Nuble	487	884	1 191	2 405	1 104	440	2 892	1 988	1 631
Concepción-Cautín	3 655	6 628	8 919	0	0	0	3 655b/	6 628	8 919
Valdivia-Llanquihue	El caudal mínimo diluye con un tratamiento 0			0	0	0			
<b>Total</b>	<b>19 863</b>	<b>36 045</b>	<b>48 543</b>	<b>7 267</b>	<b>6 436</b>	<b>3 630</b>	<b>13 488</b>	<b>18 486</b>	<b>64 073</b>
						(15 530)c/			

a/ Los caudales están por encima del caudal medio anual. Las cifras entre paréntesis indican costos adicionales para lograr la regulación completa.

b/ Con tratamiento 0 el costo agregado del caudal de dilución de desechos sería 3,33 millones de escudos, o sea más o menos el costo de un tratamiento al 35 por ciento.

c/ Incluye los costos agregados de la regulación completa en dos regiones, pero la calidad del agua no alcanzaría a 4 mg/l de oxígeno disuelto.

En los cuadros 40 al 42 figuran los costos estimados de captación, tratamiento y aumento del caudal en diversos grados de tratamiento. (Los costos de tratamiento de desechos industriales se basan en el número de equivalentes de población producidos para las proyecciones Media B.)

Qué puede hacerse en Antofagasta y Santiago, donde el abastecimiento de agua es demasiado bajo para mantener un contenido de oxígeno disuelto de 4 mg/l, incluso sometándolo a una regulación completa y extendiendo el tratamiento a la eliminación de la DOB en un 90 por ciento? ¿Se ha de llevar la regulación hasta el límite? ¿Se ha de llevar el tratamiento al 90 por ciento? Con regulación completa y tratamiento al 90 por ciento, se puede satisfacer alrededor del 60 por ciento de la necesidad de dilución en Antofagasta, pero sólo el 16 por ciento de la de Santiago. En el cuadro 41 hemos supuesto un esfuerzo supremo, prescindiendo de la posibilidad de niveles de tratamiento al 35 y al 70 por ciento, ya que a estos niveles inferiores los caudales serían irremediablemente inadecuados. En regiones de abastecimiento limitado sólo se calcularon los costos de tratamiento al 90 por ciento y de regulación completa. Una posibilidad razonable para las siete provincias del Norte sería un tratamiento al 90 por ciento sin regulación del caudal, ya que el costo de aumentar el caudal es muy alto con respecto a la probable ventaja adicional de mantener la calidad del agua en el río.

Cuadro 42

## COMBINACION DE MENOR COSTO PARA EL MANTENIMIENTO DE LA CALIDAD

(Costos anuales en miles de escudos de 1964)

Provincia	Porcentaje de tratamiento	Costo total anual (sin incluir los costos de recolección)	Costo anual de tratamiento (sin incluir los costos de recolección)	Costo anual de almacenamiento	Caudales adicionales netos (millones de m <sup>3</sup> /año)	Uso agrícola (m <sup>3</sup> /año/ha)	Extensión regable (ha)	Costos anuales totales incluidos la recolección
Tarapacá	90	134	134	0	0	34 400	0	190
Antofagasta	90 <sup>a/</sup>	1 057	919	138	15 <sup>a/</sup>	34 400	436 <sup>b/</sup>	1 446
Atacama	90	1 532	758	774	48	21 500	2 233	1 863
Coquimbo	90	1 272	896	376	55	21 500	2 558	1 634
Aconcagua-Valparaíso	90	4 082	2 636	1 446	89	21 500	4 140	4 991
Santiago	90 <sup>a/</sup>	39 908	28 008	11 900	330 <sup>a/</sup>	21 500	15 349	49 921
O'Higgins-Colchagua	90	2 776	2 320	456	145	-	-	3 602
Curicó-Linares	70	2 051	2 051	0	0	-	-	3 024
Ñuble	90	1 631	1 191	440	94	-	-	2 122
Concepción-Cautín	35	3 655	3 655	0	0	-	-	5 044
Valdivia-Llanquihue	0	0	0	0	0	-	-	614
Chiloé	-	-	-	-	-	-	-	15
Aysén	-	-	-	-	-	-	-	-
Magallanes	-	-	-	-	-	-	-	-
<u>Total</u>	-	<u>58 098</u>	<u>42 568</u>	<u>15 530</u>	<u>776</u>	-	<u>24 716</u>	<u>74 466</u>

<sup>a/</sup> Se supone que los caudales se colocan en regulación completa y que el tratamiento se lleva al 90 por ciento; los caudales así señalados son cantidades disponibles, no cantidades necesitadas.

<sup>b/</sup> Cifra discutible.

Se supone que los costos de tratamiento sólo se presenten con respecto a desechos vertidos en puntos del interior. Se supone que los desechos domésticos e industriales producidos a lo largo del litoral son vertidos en el mar sin tratamiento alguno. No fue posible determinar qué efecto tendría esto sobre la utilización de las playas para esparcimiento y sobre la productividad de las pesquerías costeras. El supuesto coincide con lo que se hace actualmente. En las zonas costeras dedicadas al veraneo, es probable que por lo menos se llegue a necesitar tratamiento primario. De aquí la probabilidad de que se hayan subestimado los costos de tratamiento correspondientes a las provincias de Aconcagua-Valparaíso.

Los costos anuales de tratamiento y recolección respecto a todo el país se estimaron en 37 millones de escudos para tratar al 35 por ciento, 54 millones al 70 por ciento y 67 millones al 90 por ciento. De estos totales, alrededor del 60 por ciento se asignaron a las regiones de Aconcagua-Valparaíso y Santiago. Sólo Santiago representa más de la mitad del total nacional. <sup>4/</sup>

<sup>4/</sup> El cálculo de estos costos se detalla en el Apéndice de la edición inglesa de la presente obra.

El crecimiento de los costos de recolección es inevitable aunque sea escaso o nulo el tratamiento o dilución. Las enfermedades transmitidas por el agua en Chile es probable que sean causadas por contaminación de las aguas subterráneas (que después se filtran a las cañerías de agua) debido a sistemas defectuosos de alcantarillado y no por tratamiento inadecuado del agua municipal. Muchos sistemas de alcantarillado son relativamente primitivos (así, por ejemplo, en Santiago tienen que despejarse con agua a presión) y es probable que sean cambiados lo antes posible. Por esto suponemos que los costos de recolección son función directa de la población urbana total más bien que del aumento que la población urbana experimente hasta 1985.<sup>5/</sup>

No se introdujo ningún factor adicional con respecto a los costos de recolectar los desechos industriales. En general, los costos de recolección se estimaron en unos 16 millones de escudos anuales (a precios de 1964). No varían según el grado de tratamiento.

En el cuadro 41 los costos de tratamiento (sin recolección) y los costos del caudal adicional se suman para medir los costos de mantener la calidad.

Cada región tiene su propia manera de encarar el mantenimiento de una norma de calidad. Tarapacá, por ejemplo, aún siendo una región escasa de agua, no necesita dilución si el tratamiento de los desechos vaciados aguas arriba se lleva al 90 por ciento de eliminación de DOB. Ni Antofagasta ni Santiago pueden mantener una norma de 4 mg/l de oxígeno disuelto, ni siquiera con regulación completa. Esto indica que el tratamiento no sólo tendría que elevarse en alto grado, sino que podría ser necesario introducir otras técnicas, como aireación artificial. Atacama y Aconcagua-Valparaíso sólo pueden mantener la calidad del agua con tratamiento al 90 por ciento; Coquimbo y Tarapacá la pueden mantener con un tratamiento al 70 por ciento.

Todas las regiones, desde O'Higgins-Colchagua al sur, pueden cumplir la norma de oxígeno disuelto mediante diversas combinaciones de tratamiento y caudal. Donde haya tal opción, es de suponer que se preferirá la combinación de menor costo, a menos que la posibilidad de percibir ingresos justifique una solución más costosa (por ejemplo, ingresos de energía hidroeléctrica). La combinación de menor costo se daría en Curicó-Linares con tratamiento al 70 por ciento y en Concepción-Cautín con tratamiento al 35 por ciento. (Un tratamiento 0 con aumento de caudal costaría más o menos lo mismo.) En la región de Valdivia-Llanquihue, la descarga prevista de desechos no tratados no reduciría el contenido de oxígeno disuelto en el agua a menos de 4 mg/l, incluso sin tratamiento alguno y con los actuales caudales mínimos.

Suponiendo que no se producen gastos por dilución de desechos cuando la regulación completa no alcanza a satisfacer los caudales necesarios, pero que sí se producen en caso contrario, entonces los costos anuales de dilución fluctúan entre 1.3 millones de escudos con un tratamiento al 35 por ciento (en el que las regiones del Norte no alcanzarían a cumplir la norma de calidad) y 3.5 millones de escudos con un tratamiento al 90 por ciento, en cuyo caso todas las regiones excepto dos cumplirían la norma.

En el cuadro 42 aparece la combinación de menor costo de caudal y tratamiento. En general, el mantenimiento de la calidad costaría 58.1 millones de escudos al año (sin

---

<sup>5/</sup> Es muy probable que este supuesto induzca a exagerar los desembolsos necesarios en materia de alcantarillado.



contar los costos de recolección), de los cuales corresponderían 42.6 a costos de tratamiento y 15.5 a costos de almacenamiento. El costo del programa de "costo mínimo" para el mantenimiento de la calidad<sup>6/</sup> se estima en la mitad de la suma que exigiría la regulación de los caudales para todos los demás fines. Si sólo se estableciera el tratamiento, el total de costos para mantener la calidad bajaría en un 27 por ciento. Incluida la recolección, el total de costos del mantenimiento de la calidad es de unos 75 millones de escudos anuales (a precios de 1964).

Sin contar a Ñuble y O'Higgins-Colchagua, regiones que en conjunto sólo representan el 6 por ciento del total de costos por dilución de desechos, todos los caudales necesarios para diluir desechos en el modelo de costo mínimo se encuentran en la parte norte del país, donde podrían servir a la agricultura si se volvieran a captar antes de verterse en el mar. La extensión de tierra servida de esta manera se determinaría por las necesidades de agua por hectárea consideradas más bien en forma bruta que neta, ya que la tierra estaría "aguas abajo" más bien que "aguas arriba". Los caudales de dilución necesarios en O'Higgins-Colchagua y Ñuble no tendrían otra utilización, a menos que formarían parte de una entrega regulada de agua para la generación de electricidad, pues no habría tierra regable que ya no estuviera regada. (Todas las necesidades de Ñuble se computan como pérdidas, ya que Ñuble está situado "aguas arriba". Las necesidades de captación aguas abajo en O'Higgins-Colchagua ya se han tenido en cuenta al fijar los caudales "adicionales" de dilución de desechos en 144 millones de metros cúbicos por año. Como es natural, el agua se podría usar con actividades nuevas no previstas en nuestro modelo.)

La superficie regable total que podría ser servida por los caudales de dilución de desechos asciende a 24 700 hectáreas, siempre que se disponga de un almacenamiento regulador adicional aguas abajo. Esta nueva regulación tal vez se podría lograr mediante pequeños estanques situados en los predios, ya que las cantidades de agua y la extensión regable no son grandes. La extensión adicional mantenida por los caudales de dilución no compensaría el costo relativamente elevado del agua de dilución. (El costo de la dilución de desechos -exclusión hecha de O'Higgins-Colchagua y Ñuble- es de unos 27 300 escudos anuales por millón de metros cúbicos o si se destina totalmente a la agricultura, 590 escudos anuales por hectárea.)

La cuestión de la calidad del agua supone las dos especies de medidas ya examinadas: tratamiento de los desechos antes de su descarga y dilución de los desechos descargados y tratados. Por ser limitadas la experiencia de Chile en materia de calidad del agua y su preocupación al respecto, hay poco motivo para suponer una extrapolación de política en el futuro, y dada la escasa preocupación anterior y actual, también es escasa la información. Las cifras utilizadas y las conclusiones que hemos deducido sólo tienen carácter de inferencias, y se basan en adaptar experiencia y datos del extranjero a las condiciones de las aguas chilenas.

Nada se ha dicho acerca de la inversión acumulada de capital que exigiría mantener una alta calidad de agua. Se presume que los costos de capital son más o menos doce

---

<sup>6/</sup> Se considera "mínimo" sólo dentro de los límites de los supuestos adoptados sobre producción de desechos y tecnología para el tratamiento de los mismos. De cambiar tales supuestos, podría ser otra la combinación "mínima".

veces los costos anuales, al 8 por ciento de interés y con 50 años de amortización. Sólo el sistema de recolección (cuyos costos no se han incluido en varios de los cuadros anteriores) exigiría para 1985 una inversión total aproximada de 200 millones de escudos (a precios de 1964). Las instalaciones de tratamiento, para la combinación de menor costo de tratamiento y caudal, exigirían otros 500 millones de escudos. El costo agregado del caudal exigiría 186 millones más. En conjunto, el costo acumulado de capital para 1985 ascendería, por consiguiente a unos 900 millones de escudos (a precios de 1964), lo que equivale aproximadamente a 300 millones de dólares (a los tipos oficiales de cambio del mismo año 1964).

Un programa mínimo (diferente del programa de costo mínimo examinado más arriba) que proporcionase tratamiento primario a todos los desechos domésticos y municipales descargados aguas arriba -excepto en los sitios donde los actuales caudales mínimos se encargarán de diluir adecuadamente los desechos no tratados- costaría cada año 16 millones de escudos por gastos de recolección y otros 20 millones por gastos de tratamiento, esto es, la mitad de un programa destinado a cumplir las normas de 4 mg/l de oxígeno disuelto. Los costos de capital correspondientes a ese programa serían de unos 432 millones de escudos.

## Capítulo VIII

### VARIACIONES SOBRE EL TEMA PRINCIPAL

Todas las estimaciones sobre costos de almacenamiento se basan en el supuesto de una seguridad de 85 por ciento para los caudales indicados. Ello quiere decir, que en 3 años de cada 20, en promedio, los caudales serán inferiores a la cantidad especificada.

Las informaciones nos permiten responder en forma aproximada a estas otras dos preguntas: 1) ¿Qué haría falta para elevar el nivel de seguridad a 100 por ciento? 2) ¿Cuáles son los caudales que tendrían una seguridad total cuando fuera de 85 por ciento la de los caudales indicados?<sup>1/</sup>

#### Mayor grado de seguridad

Si la seguridad de los caudales existentes igualados o superados el 95 por ciento de las veces se eleva a 100 por ciento, las necesidades no agrícolas, suponiendo un alto grado de recirculación para los usos industriales podrían atenderse sin problemas (a expensas de la agricultura, por supuesto). Este resultado se alcanzaría con un almacenamiento menor del especificado en el caso I, en el que se postula una limitación del costo marginal y el uso agrícola es considerada como residual.

Por otra parte, si se desea elevar el nivel de seguridad de todos los usuarios de 85 a 95 o a 100 por ciento, la cuantía del almacenamiento aumenta apreciablemente. El cuadro 43 muestra los aumentos porcentuales de almacenamiento necesarios para dar una seguridad superior al 85 por ciento. El volumen de almacenamiento tendría que elevarse entre el 2 y el 55 por ciento para llegar a un 95 por ciento de seguridad, y entre el 3 y el 68 por ciento para alcanzar una seguridad total. En varias regiones las necesidades adicionales de almacenamiento parecen insignificantes en relación con los demás elementos indeterminados de nuestras estimaciones. Estas regiones son Tarapacá, Antofagasta, Aconcagua-Valparaíso (para una seguridad de 95 por ciento), Santiago y Ñuble. En las demás regiones, donde los volúmenes de almacenamiento deberían aumentar entre el 30 y el 60 por ciento, el efecto económico, expresado en función del costo marginal, sería bastante limitativo.

El volumen de almacenamiento necesario en el caso I, en el que se postula una limitación del costo marginal y se considera la agricultura como residual, proporcionaría

---

<sup>1/</sup> Véanse las observaciones sobre "100 por ciento de seguridad" que se hicieron supra, pp. 96 ss.

Cuadro 43

## NECESIDADES DE ALMACENAMIENTO PARA NIVELES MAYORES DE SEGURIDAD

Provincia	Almacenamiento para elevar la seguridad del caudal de 95 a 100 por ciento <sup>a/</sup> (millones de m <sup>3</sup> )	Aumento porcentual con respecto a una seguridad de 85 por ciento para dar una seguridad de: <sup>b/</sup>		Caudal mínimo con limitación de costo marginal	
		95%	100%	85 por ciento de seguridad (mill.m <sup>3</sup> /año)	100 por ciento de seguridad (mill.m <sup>3</sup> /año)
Tarapacá	0.3	2	3	56	53
Antofagasta	0.52	3	18	88	83 <sup>c/</sup>
Atacama	2.34	29	52	113	100
Coquimbo	9.1	33	53	601	480
Aconcagua-Valparaíso	13.0	16	28	1 093	980
Santiago	65.0	5	8	2 920	2 830
O'Higgins-Colchagua	26.0	55	68	4 557	4 040
Curicó-Linares	130.0	32	51	7 946	6 300
Ñuble	39.0	11	15	2 333	1 830
Concepción-Cautín	118.0	42	61	10 940	10 000 <sup>c/</sup>
Valdivia-Llanquihue	476.0	-	-	22 088	22 000 <sup>c/</sup>

Fuente: Los cálculos sobre almacenamiento y aumento porcentual proceden del Centro de Planeamiento de la Universidad de Chile.

<sup>a/</sup> Es decir, almacenamiento para dar una seguridad de 100 por ciento al caudal ahora igualado o superado durante el 95 por ciento del tiempo.

<sup>b/</sup> Basado en el almacenamiento para el caudal medio.

<sup>c/</sup> Estimación aproximada; curvas convergentes.

caudales con seguridad total que representan aproximadamente el 90 por ciento de los proporcionados con el 85 por ciento de seguridad. <sup>2/</sup>

Estas cantidades bastarían para hacer frente a las necesidades no agrícolas, a menos que todas las industrias situadas aguas abajo, las fundiciones y las centrales de energía, así como los sistemas municipales, usaran el agua sin hacerla recircular. Con todo, si las centrales térmicas y las empresas mineras hiciesen recircular el agua, de suerte que el agua captada por ellos fuera igual a sus pérdidas, el caudal aguas abajo con una seguridad de 100 por ciento bastaría para que las municipalidades y las empresas manufactureras pudiera usar el agua sin hacerla recircular. El almacenamiento adicional para hacer frente a las necesidades estacionales de riego constituiría otro margen de seguridad para los usos no agrícolas. <sup>3/</sup> El hecho de que el almacenamiento proporcionase efectivamente un margen de seguridad para los usos no agrícolas dependería, por supuesto, de la anticipación con que se informara a los encargados de controlar la

<sup>2/</sup> Estimaciones según las curvas obtenidas de las relaciones entre el caudal y el almacenamiento que proporciona Ricardo Harboe.

<sup>3/</sup> Excepto en Aconcagua-Valparaíso y Santiago.

salida del agua almacenada y de las facultades que tuviesen para sustraer el agua de los usos agrícolas. <sup>4/</sup>

#### Orden y calendario de las ampliaciones del almacenamiento <sup>5/</sup>

Nada se ha dicho sobre los problemas relacionados con la elección del momento en que comenzarían a operar determinados incrementos de la capacidad de almacenamiento, salvo que de hecho hemos estado discutiendo las condiciones hipotéticas en 1985. Tampoco se han examinado, excepción hecha de algunas referencias ocasionales, las posibilidades de ampliar en distinto orden los embalses de diferente capacidad. Los costos de almacenamiento se basaron en tablas elaboradas previamente siguiendo la norma de que se construirán primero embalses grandes y después otros cada vez más pequeños. Se supuso que el tamaño de los embalses variaría conforme aumentara el volumen de almacenamiento hasta llegar a la regulación total, pero esta hipótesis podría modificarse al disponer de mejores informaciones.

Como la capacidad de almacenamiento y de tratamiento a que se refieren nuestros modelos son capacidades que amplían la ya existente y hay ciertas deficiencias en cuanto a la producción de alimentos y a la calidad del agua en algunas regiones, se incluyen en nuestro modelo necesidades de agua superiores a las cantidades determinadas tan sólo por el futuro crecimiento de la población y de la demanda, a fin de hacer frente a las necesidades acumuladas. En consecuencia, para lograr este objetivo, habría que efectuar grandes inversiones en el futuro inmediato. Posteriormente, el crecimiento de las inversiones para aprovechamiento del agua podría basarse en las tasas proyectadas de crecimiento de los usos del agua. Como la planificación, los planos y la construcción de proyectos de aprovechamiento de cuencas hidrográficas suelen requerir una anticipación de años y en muchos casos se necesitan decenios para corregir las deficiencias de informaciones de las cuales depende la planificación racional, los procesos de planificación y de recopilación de informaciones deben alcanzar su punto máximo lo antes posible. En los casos en que para reunir los datos hidrológicos se requiera más tiempo del que se dispone entre el momento actual y la fecha en que se preparen los planos y se inicie la construcción, habrá que buscar otras fuentes de información para salvar las deficiencias sin incurrir en grandes errores. Los proyectos de aprovechamiento de cuencas hidrográficas no sólo son onerosos y de larga gestación, sino que originan cambios irreversibles en el régimen de los ríos y no deben iniciarse hasta que el riesgo de error no se haya reducido a una magnitud tolerable.

Los problemas relacionados con la determinación del momento oportuno para realizar un proyecto están vinculados con el problema general de la escasez de capital

---

<sup>4/</sup> El hecho de que el escurrimiento se registre desde hace relativamente poco tiempo en muchas regiones significa que nuestras estimaciones sobre la relación entre el caudal y el almacenamiento pueden ser erróneas. Además, determinado volumen de almacenamiento dará una seguridad de 100 por ciento para determinado caudal sólo si la administración de la salida del agua se ciñe a una pauta consecuente con dicho objetivo durante muchos años, no sólo durante los períodos en que escasea el agua.

<sup>5/</sup> El autor agradece a Orris C. Herfindahl la oportunidad que le dio de discutir con él muchos de los problemas teóricos examinados en ésta y otras secciones del estudio. El Sr. Herfindahl no sólo contribuyó a esclarecer muchas de las relaciones sino que sugirió otras.

y con la posibilidad de emplear técnicas alternativas, por lo menos a corto plazo, a fin de satisfacer determinados objetivos. Así, por ejemplo, puede elevarse rápidamente la productividad agrícola aplicando prácticas adecuadas de cultivo en las fincas dentro de los límites de las disponibilidades de agua. Hay cambios que pueden emprenderse de inmediato como un mayor uso de fertilizantes, perfectamente compatible con la inversión en recursos hidráulicos, sin peligro de que las investigaciones posteriores demuestren que son demasiados costosos.

Fuera de estas observaciones de por sí evidentes, que sólo se formulan para evitar que se nos acuse de haber prescindido de ellas, no nos explayaremos sobre esta materia. Se necesitan nuevos estudios más detallados para obtener conclusiones más precisas. Sin embargo, podemos ampliar lo que ya se ha dicho acerca del orden en que agregar los embalses de diferente tamaño.

Supongamos que se invierta el orden de los embalses y que se empiece con los más pequeños en vez de los más grandes. Es de suponer que no se alteran los costos totales si la regulación se extiende hasta el límite teórico. Pero si la regulación es inferior al límite hidrológico porque se interpone una limitación económica y ésta queda determinada por los costos marginales de almacenamiento, puede haber una apreciable diferencia en cuanto a los resultados entre seguir un orden u otro. Si se comienza con los embalses grandes<sup>6/</sup> y después se construyen los pequeños, se aprovecha el hecho de que los costos de los primeros incrementos del caudal son reducidos por dos razones: 1) porque se producen al "comienzo" del movimiento a lo largo de la curva de caudal-almacenamiento (que exhibe una productividad marginal física decreciente del caudal) y 2) porque utilizan los costos más bajos por unidad de almacenamiento que se postulan para cada región. Al invertir el orden y ampliar el almacenamiento al comienzo con embalses de gran costo, la productividad física marginal decreciente y los costos de almacenamiento unitarios decrecientes tendrán efectos contrapuestos. La disminución de la productividad física marginal constituye, sin embargo, la fuerza más poderosa, por lo que el movimiento general de la curva de costo marginal seguirá ascendiendo<sup>7/</sup> pero a un ritmo apreciablemente menor.<sup>8/</sup>

---

<sup>6/</sup> La expresión "embalses grandes" es una forma indirecta de decir embalses de bajo costo, es decir embalses que tienen un bajo costo por unidad de agua embalsada. Estos circunloquios reflejan el hecho de que no existe, para cada región en que se han clasificado los recursos hidráulicos, lista de lugares para la construcción de embalses cuyos costos de almacenamiento pueda vincularse con la cuantía total de regulación que se logre en un momento dado. Por carecer de dicha lista hemos supuesto arbitrariamente que la capacidad de un embalse y el costo por unidad de capacidad guardan una relación inversa. Además, el análisis de los recursos de agua de una región se basó en la suma de los caudales de todos los ríos para calcular una sola relación entre el caudal y el almacenamiento, que nada dice sobre las variaciones de esta relación dentro de la región. Un análisis más refinado indicaría que un embalse de determinada capacidad en el río X contribuiría más a la regulación del caudal, por la modalidad natural de variabilidad del caudal, que un embalse de igual capacidad sobre el río Y situado en la misma región. En este tema surgen otras variaciones cuando se consideran la compatibilidad o incompatibilidad de los usos del agua y se suma la interacción sistemática de la demanda a la interacción de la oferta, luego de haber convertido ambas de unidades físicas a unidades monetarias. El análisis de las distintas posibilidades de uso del agua de las cuencas hidrográficas se hace para tener en cuenta dicha interacción y elegir un programa de desarrollo a la luz de un criterio que permita obtener resultados óptimos.

<sup>7/</sup> Estas conclusiones se basan en las informaciones disponibles y en la tabla general de costos de almacenamiento preparada con las informaciones. Si nuevas investigaciones revelaran que existe una relación diferente entre los costos unitarios correspondientes a la capacidad y el tamaño del embalse (o entre los costos unitarios de almacenamiento y otras características de los lugares de almacenamiento que dan origen

La modalidad general que queda de manifiesto comparando el costo marginal de construir los embalses grandes antes que los pequeños y el caso contrario queda ilustrada en los gráficos I al IV. Cuando se construyen primero los embalses pequeños, los costos marginales son inferiores en las primeras etapas, se elevan en las etapas intermedias y bajan nuevamente en las etapas finales en comparación con lo que ocurre cuando se construyen primero los embalses grandes. Los costos acumulados de capital que lleva aparejados la construcción de los embalses pequeños antes que los grandes son superiores a los costos de capital acumulados en el caso contrario -una vez instalado determinado volumen de capacidad del embalse- y continúan siendo inferiores hasta que se llega a la plena capacidad.

En ninguna de estas comparaciones se ha considerado el problema del tiempo como dimensión independiente. El problema del tiempo se manifiesta en distintas formas: es más demoroso llenar los embalses grandes que los pequeños construidos en el mismo río; las actividades complementarias de preparación agrícola requieren cierto plazo; gran parte de la demanda proyectada no se hará sentir hasta dentro de cierto tiempo, pero los trabajos deben empezarse de inmediato a fin de que todo esté preparado. Los costos reales de construcción pueden elevarse, bajar o permanecer constantes. Es posible que se modifique el valor de los terrenos. En general, los costos y beneficios de los proyectos grandes y pequeños variarán con el tiempo. En ciertas circunstancias, la decisión de construir primero los pequeños (o una combinación de embalses pequeños y grandes) es más eficiente que elegir un orden de construcción en que los costos unitarios de capacidad de cada nuevo embalse sean superiores. Los embalses pequeños pueden ser más económicos que los grandes en algunas etapas de desarrollo, incluso si los costos unitarios de capacidad son más elevados, porque eliminan o reducen los costos del excedente de capacidad o debido al racionamiento del capital.

Si consideramos típica la experiencia de los Estados Unidos,<sup>9/</sup> podemos llegar a la conclusión de que la mayoría de los países comienzan por los embalses pequeños, lo cual significa que los límites económicos del desarrollo de los recursos de agua se extienden más allá que si se hubiera adoptado la política contraria desde el comienzo.

---

a una curva de oferta con pendiente ascendente para la capacidad de almacenamiento), el efecto de cambiar el orden de la construcción de embalses podría ser distinto. Los costos marginales de caudal podrían ser constantes o decrecientes.

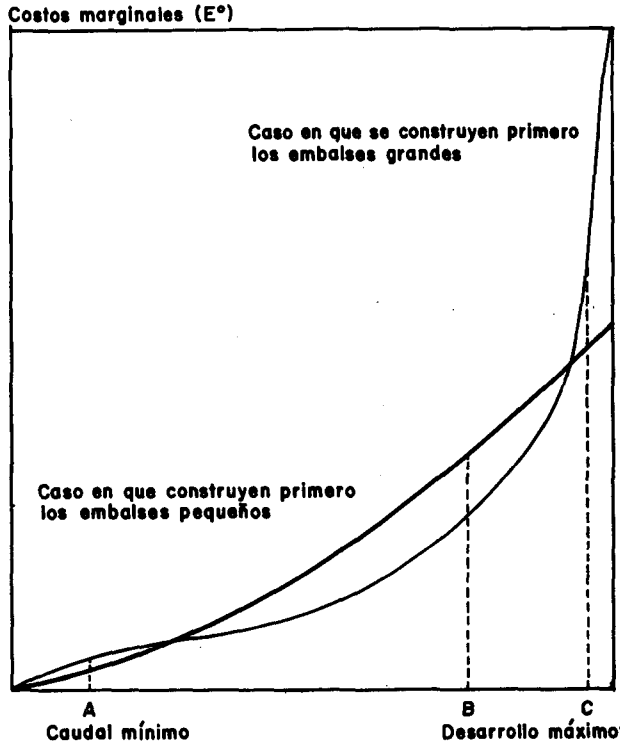
8/ Otra consideración es que un orden en que se da prioridad al mayor tamaño puede conllevar gastos de capital relativamente grandes en el futuro inmediato y gastos de capital más pequeños en el futuro más remoto. Si los tipos de interés se mantuvieran a un valor constante durante todo el período de la inversión, el valor presente de los costos de capital sería mayor cuando se diese prioridad al mayor tamaño que en el caso contrario. Si existe la probabilidad de que los tipos de interés bajen en el futuro remoto por bajo de los niveles de plazo corto, la diferencia entre las dos alternativas en términos de valor presente de los costos de capital sería mayor aún.

También cabe observar que preferir el mayor tamaño no significa necesariamente que los costos de capital serán mayores en los primeros años que en los últimos del período de inversión. Todo depende del volumen de almacenamiento nuevo que se debe agregar todos los años. Partiendo de la hipótesis de que se agregará un volumen constante de almacenamiento todos los años, los costos anuales de optar primero en favor del criterio de menor tamaño serán mayores que los costos del mayor tamaño, pues los costos por metro cúbico de capacidad son mayores para los embalses pequeños que para los grandes.

9/ Reservoirs in the United States, U.S. Geological Survey, Water-Supply Paper 1360-A (Government Printing Office, 1956), pp. 9-10.

Gráfico 1

COSTOS MARGINALES DE CAUDAL DE DISTINTOS ORDENES DE PRIORIDAD EN LA CONSTRUCCION DE EMBALSES



El costo de extensión del límite económico constituye un desembolso de capital acumulado mayor para las etapas intermedias de desarrollo. Estas relaciones se indican por los puntos A, B y C en los gráficos 1 y 2. Los costos marginales y de capital acumulado correspondientes a la regulación hasta OA son inferiores si se construyen primero los embalses pequeños. Los costos de regulación hasta OB son menores si se comienza por construir los grandes. En el punto C, cuando se trata del caso en que se construyen los embalses pequeños antes que los grandes, son menores los costos marginales pero mayores los costos de capital acumulado.

Los gráficos 3 y 4 se basan en el costo unitario y en las funciones de caudal-almacenamiento que se utilizaron en el capítulo V. Con fines ilustrativos se eligieron Atacama y Santiago sin que haya habido una razón especial para hacerlo. Ambos gráficos muestran las curvas correspondientes a los costos de capital acumulados y los costos marginales anuales por millones de metros cúbicos de caudal. Los valores, que fueron tomados de los cuadros 12 y 13 del apéndice, se representan como funciones escalonadas.

Como estas curvas se basan en valores más bien hipotéticos que reales, indican la importancia de disponer de la información básica. Para Santiago se puede lograr un incremento del caudal mínimo, por ejemplo a 2 850 millones de metros cúbicos anuales, con un desembolso de capital acumulado de 90 millones de escudos si se empieza por construir los embalses grandes y de 190 millones de escudos si se empieza por los pequeños. Estas ventajas, sin embargo, se invierten para los primeros 500 millones de metros cúbicos de caudal mínimo adicional.

En Atacama las ventajas de construir primero los embalses pequeños se mantienen para un intervalo relativamente más largo de regulación que en Santiago. No obstante, los costos marginales en el caso de empezar por los embalses pequeños aumentan rápidamente y podrían limitar más el desarrollo que en el caso contrario. Sólo una contracción de capital muy aguda y prolongada, unida a beneficios marginales muy elevados, podría justificar la construcción de los embalses pequeños antes que los grandes.

Como los costos marginales y acumulados de regulación ex ante dependen de la política aplicada ex post, las curvas de almacenamiento no son tan precisas como podría haberse dado a entender en el capítulo V. Sin embargo, dentro de un plazo de planificación



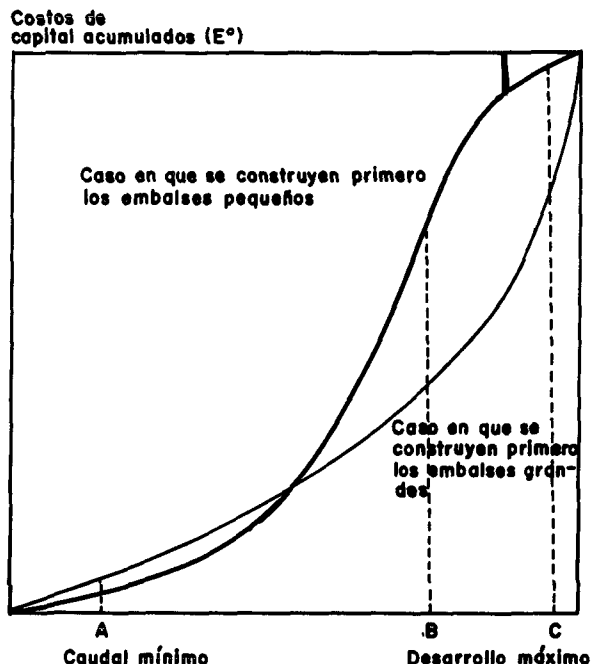
determinado y a base de determinados antecedentes históricos, podría eliminarse en gran parte la indeterminación en que sigue basándose la elección de un orden de construcción.<sup>10/</sup>

Si la información que sirvió de base para determinar las limitaciones de los costos marginales refleja fielmente las diferencias observadas en la productividad marginal de la tierra regada en las diferentes provincias (dados otros insumos), habría correlación entre el orden óptimo de inversión y las diferencias que ahora existen entre los niveles actuales de regulación y los niveles de regulación proyectados para los recursos de agua de cada región. No es fácil asignar esa verosimilitud a las cifras que hemos elaborado. Es de suponer que los avalúos fiscales reflejan la productividad agrícola, pero al respecto hay cierta contradicción. Cabría imaginar que el rendimiento de una hectárea de tierra bien regada en la región costera del norte (en Tarapacá y Antofagasta) es el más elevado de Chile, en vista de lo benigno del clima y de la duración de la estación de cultivo <sup>11/</sup>, pero en promedio, las tierras regadas cercanas a Santiago tienen los avalúos más altos. Si la productividad física relativa de la tierra difiriera del valor relativo con fines tributarios, la diferencia podría reflejar varios factores, entre ellos el costo de transporte hacia la región central del país. En estas circunstancias, cualquier rebaja apreciable en los costos de transporte alteraría las ventajas relativas de determinado orden geográfico en que se efectuaran las inversiones en recursos hidráulicos.<sup>12/</sup>

También hay que considerar otros factores. Uno es la composición de los cultivos, que en la actualidad puede reflejar por una parte la seguridad en cuanto al sumi-

Gráfico 2

COSTOS DE CAPITAL ACUMULADO DE DISTINTOS ORDENES DE PRIORIDAD EN LA CONSTRUCCION DE EMBALSES



<sup>10/</sup> Subsiste la indeterminación vinculada con la probabilidad de hacer conjeturas sobre el futuro. Obsérvese también que al calcular la cuantía del almacenamiento (y el cambio del caudal regulado) permitido por un límite superior del costo marginal, el método de interpolación lineal entre la regulación 0 y el primer intervalo tiene más sentido si se decide construir primero los embalses pequeños más bien que los grandes. En cambio, la interpolación efectuada en los intervalos "posteriores" contiene menos errores si se opta por construir primero los embalses grandes.

<sup>11/</sup> En los oasis de Pica y Matilla, al interior de la provincia de Tarapacá, hay tierras agrícolas cuyos avalúos son los más altos de Chile. En las zonas de la costa del Norte Grande, de más baja altura, el valor de la tierra es mucho menor.

<sup>12/</sup> Las diferencias en el valor de la tierra que reflejan probables cambios del uso agrícola al uso urbano podrían persistir después de reducirse los costos de transporte.

Gráfico 3

ATACAMA: COSTOS DE CAPITAL ACUMULADOS Y COSTOS MARGINALES ANUALES

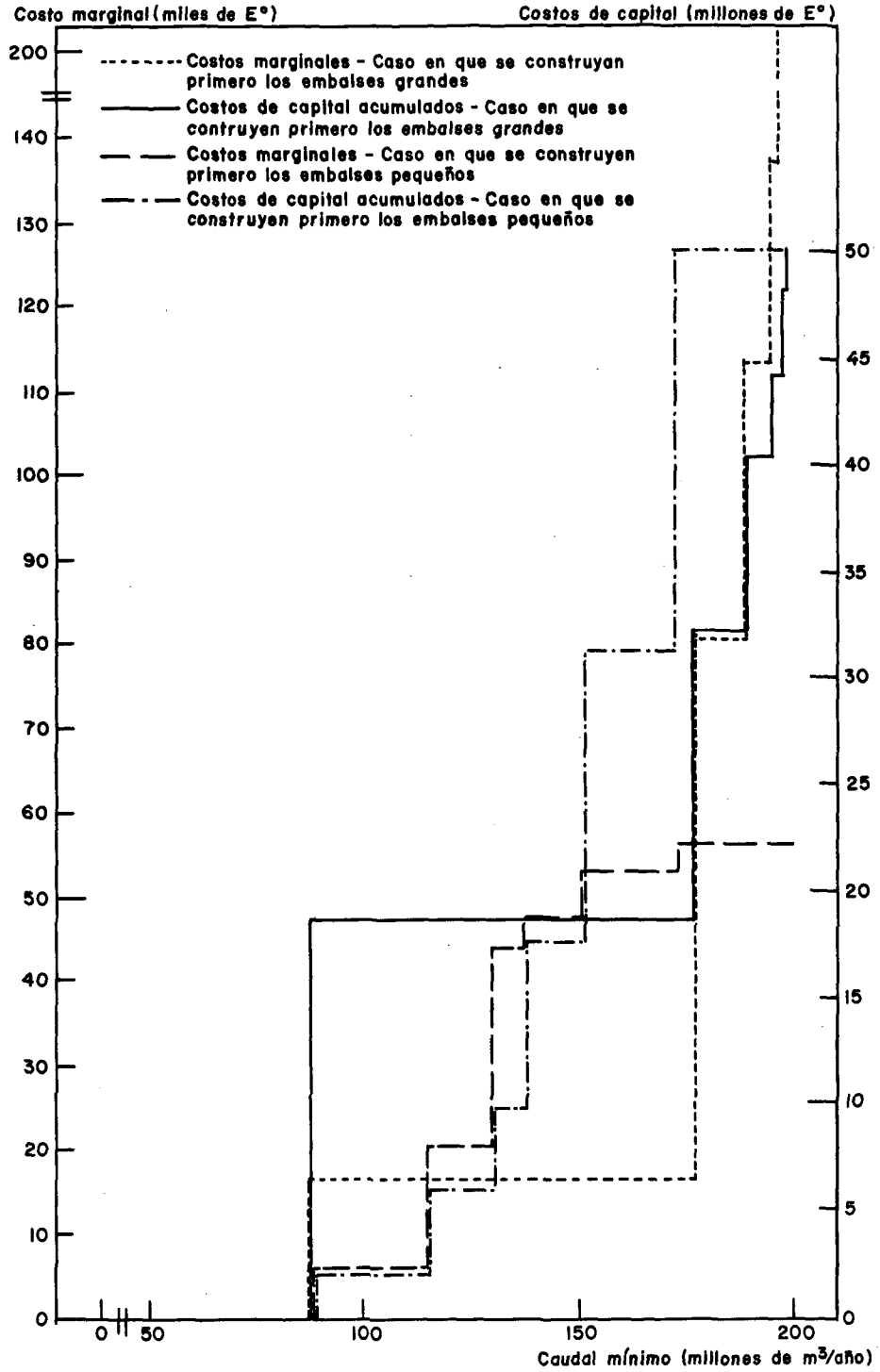
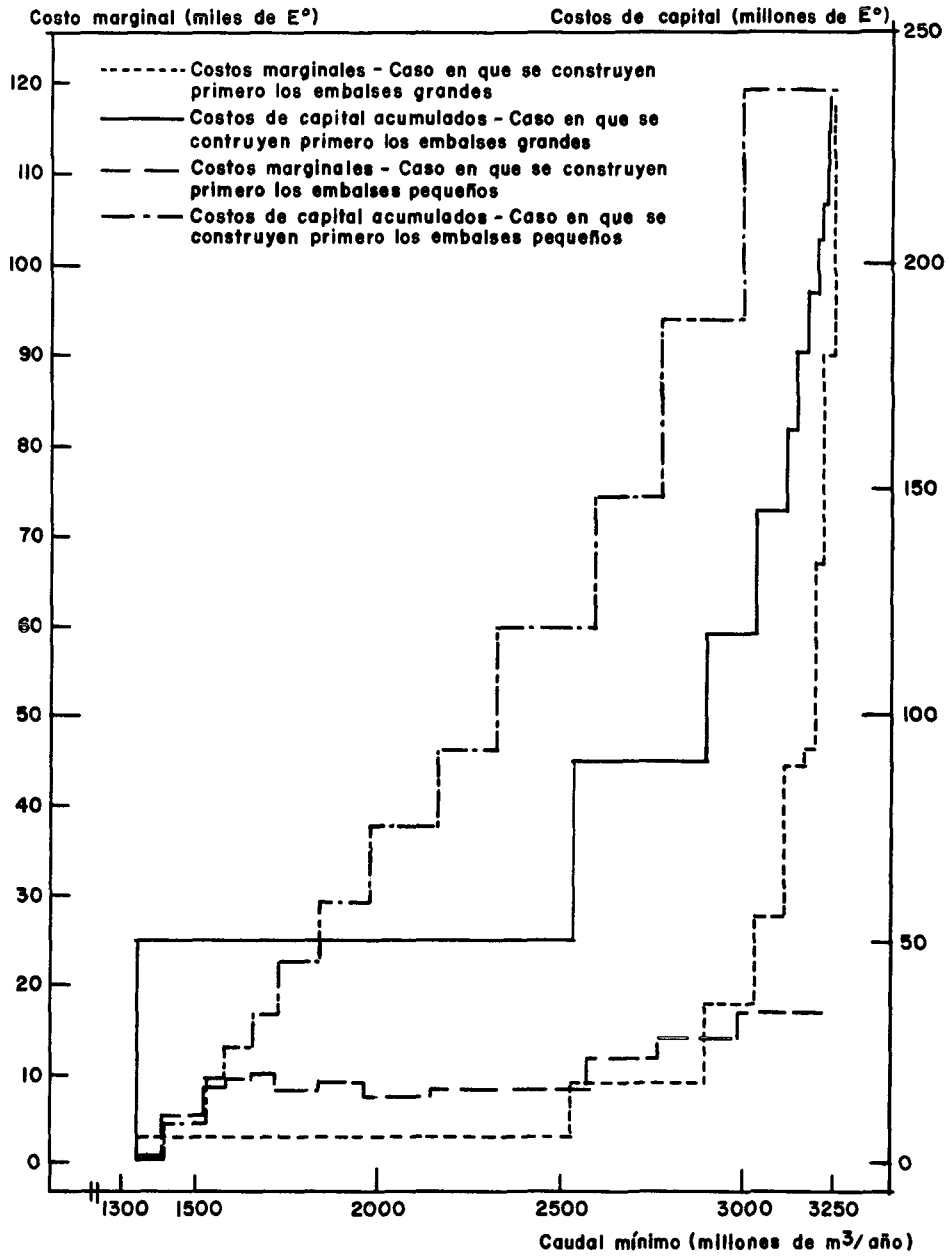


Gráfico 4

SANTIAGO: COSTOS DE CAPITAL ACUMULADOS Y COSTOS MARGINALES ANUALES



nistro de agua y por otra el hecho de que una masa abrumadora de chilenos percibe un ingreso de subsistencia, cuyo poder adquisitivo está protegido por controles de precios selectivos. Los controles de precios han generado a su vez otros controles, cuyo efecto total no siempre puede explicarse mediante la lógica económica.<sup>13/</sup> Como ejemplo podrían citarse los planes gubernamentales para la agricultura en el próximo quinquenio.<sup>14/</sup> Con arreglo a estos planes, la superficie destinada al cultivo del trigo debe aumentar de 878 000 hectáreas en 1965 a 967 000 hectáreas en 1970, pero no se considera aumento alguno en la superficie destinada a viñas. Como el producto bruto por hectárea es seis veces superior para las viñas que para el trigo, como la tierra constituye una restricción importante y como las viñas suelen no requerir grandes cantidades de agua, el cambio propuesto en la distribución de los cultivos no sería económicamente justificable.

La actual seguridad del suministro de agua puede haber introducido un grave error en la curva de restricciones del costo marginal. Sólo cuando se conozcan las funciones de producción correspondientes a varias modalidades de cultivo podrá eliminarse la posibilidad de error. Si la variabilidad natural del caudal en determinada región tiene tales características que se requiere un volumen de almacenamiento relativamente elevado para regular el caudal de riego, la agricultura en esa región habrá adoptado una modalidad de cultivo extensivo, con un mínimo de riesgo, más bien que una modalidad de cultivo intensivo, muy arriesgada. Los valores actuales de las tierras reflejarían esta circunstancia y darían la curva correspondiente de restricciones del costo marginal. Al adoptar esas restricciones como base de la política sin someterlas a estudio, no se examina la posibilidad de que un cambio en gran escala en el carácter de la economía agrícola permita un desarrollo mucho mayor de los recursos hidráulicos. Por otra parte, a menos que se recurra a la desalinización y a los trasvases de agua de una cuenca a otra, las posibilidades son limitadas aun considerándolas en forma muy optimista.

El que hayamos sobrestimado o subestimado mucho las posibilidades de riego de cualquier región, o de todas las regiones, tiene relativamente poca importancia para el país en conjunto. La oferta limitada de tierra constituye el principal factor restrictivo de la producción agrícola total. Si no se han expresado adecuadamente los costos del agua, la producción futura "necesaria" por hectárea puede ser solamente 2 veces que la producción actual, en lugar de 2.2 veces, o puede ser 2.4 ó 2.5 veces la actual. Pero estas variaciones son relativamente pequeñas en comparación con el enorme aumento que evidentemente debe experimentar la productividad si se comparan los objetivos agrícolas con la tierra existente.

---

<sup>13/</sup> La actual escasez de azufre (octubre de 1965), que se utiliza como fungicida en los viñedos, es uno de los casos en que se habla de efectos caprichosos de las medidas de gobierno. En Chile no parece haber escasez de azufre como materia prima, pero se dice que el gobierno ha controlado los precios tan eficazmente que la producción no alcanza a satisfacer la demanda.

<sup>14/</sup> Informaciones inéditas suministradas por Klaus Gerber, de la Oficina de Planificación Nacional (ODEPLAN).

### Otras tasas proyectadas de crecimiento

Casi todo el análisis se ha basado hasta ahora en que es mediana la tasa de crecimiento demográfico y alta la de crecimiento del producto nacional bruto (PNB). Ya se había llegado a la conclusión de que las diferencias entre esta proyección y la que se basaba en una tasa mediana de crecimiento demográfico y baja de crecimiento del PNB no justificaba un estudio detallado. Esta conclusión se basaba en que la tierra regable se aprovecharía al máximo con cualquiera de las proyecciones y en que las demás variaciones en cuanto a las necesidades de agua eran relativamente pequeñas.

El efecto de ampliar el margen de posibilidades, al vincular bajas tasas de crecimiento demográfico con bajas proyecciones del ingreso y elevadas tasas de crecimiento demográfico con proyecciones altas del ingreso no alteraría materialmente los resultados, sobre todo porque es muy pequeña la diferencia entre una tasa alta y otra baja de crecimiento demográfico y una alta y otra baja de crecimiento del ingreso. A pesar de ello, teniendo en cuenta las deficiencias de las informaciones básicas, no vale la pena estudiar detenidamente las repercusiones de posibilidades realmente extremas. Si después se estudiara esta materia, es posible que los efectos de ajustarse a un número mayor de posibilidades fueran más importantes para los usos industriales del agua, para enfrentar la amenaza de contaminación y para mejorar el nivel nutritivo por habitante. Una tasa de incremento de la población más baja que la postulada alteraría algunos de los supuestos de nuestras proyecciones. Disminuiría la necesidad de recursos frente a la presión de los números. En esas condiciones, un pequeño incremento de la productividad por hectárea se traduciría en un gran aumento del volumen de alimentos y fibras por habitante. Asimismo se reducirían los costos de capital de la urbanización. Téngase en cuenta que, tomando como criterio la tierra arable por habitante, Chile es un país de población relativamente densa. En efecto, con la tasa media actual de incremento demográfico, Chile tendría en 1985 alrededor de 0.35 hectáreas de tierra arable por habitante, nivel comparable con las cifras correspondiente a 1962 de Dinamarca (0.67 hectáreas), Alemania (0.25), Francia (0.73) e Italia (0.41) y con el promedio europeo (0.56).

También se podría considerar el efecto que sobre los planes relacionados con los recursos hidráulicos tendría la ampliación del plazo de planificación de 1985 al año 2 000, por ejemplo. Hacer planes que abarquen un período de treinta y cinco años no es novedad para ENDESA, aunque otros organismos gubernamentales no suelen planificar con tanta anticipación. Para una fecha tan lejana, la asignación de medios físicos deberá mantenerse al mínimo. Lo que no se debe mantener al mínimo, sin embargo, es la recopilación de datos y la elaboración permanente de las investigaciones esenciales.

## Capítulo IX

### CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES

La principal conclusión que se puede obtener de los capítulos anteriores no sorprenderá a nadie: no se pueden tomar decisiones "eficientes" o "racionales" respecto al uso del agua sin disponer de datos y cifras adecuados, y los que hay respecto a Chile no son muy buenos.

Si se quiere, es posible deducir inferencias interesantes acerca del papel del agua en la economía chilena, en cuanto a las inversiones necesarias para lograr determinado abastecimiento de agua, respecto a la distribución de la actividad económica en armonía con tales o cuales gastos en recursos hidráulicos y acerca de la repercusión implícita de la escasez de agua en la productividad de los insumos relacionados con ella. Sucumbiendo fugazmente al atractivo de las cifras que hemos elaborado, cabe señalar que los costos de capital que supone la regulación de ríos y el tratamiento de desechos (a precios de 1964) fluctúan entre 1 900 y 1 400 millones de escudos (más o menos, entre 600 y 400 millones de dólares), según que el modelo aceptado sea el caso I sin limitaciones o el caso I con las limitaciones de costos marginales y la agricultura colocada en posición residual. Aún con tales gastos, la escasez de agua en las siete provincias del Norte de Chile restringirá la agricultura, la industria o ambas, a niveles inferiores a los proyectados antes de tomar en consideración el abastecimiento de agua. También puede advertirse que la diferencia de la inversión necesaria entre un control completo de los recursos hidráulicos y un grado menor de control, fijado por el límite del costo marginal, es del orden de 500 millones de escudos (150 millones de dólares) y que los costos acumulados de capital para mantener la calidad del agua son del orden de 900 millones de escudos (280 millones de dólares).

La gama posible de opciones en vista de la escasez creciente de tierra y agua es tan grande que se justifican algunas observaciones más.

Un modo de proceder sería mantener cultivada toda la tierra regable, en la esperanza de que cada año será bastante lluvioso para una buena cosecha. El necesario aumento de productividad será más difícil de conseguir si los cultivos se inician o se mantienen con agua disponible tan sólo en años relativamente lluviosos, o si el agua se distribuye lo más ampliamente posible, en vez de asignarla con mayor seguridad a una superficie total más pequeña. A menos que el abastecimiento de agua sea razonablemente constante, no se presentarán los insumos complementarios necesarios para duplicar la producción. La simple posesión de tierra regable no será justificación suficiente para reclamar agua, pues la tierra regable abundaría más que el agua precisamente allí donde el agua escasea.

Para que Chile llegue lo más cerca posible de alcanzar sus objetivos de producción, el agua tendría que ser racionada en las siete provincias nortinas con arreglo a un criterio de producto marginal del agua. Para ello serían necesarios ágiles controles

administrativos o mercados separados del agua y la tierra, donde los participantes se vieran obligados a obtener el mayor producto neto posible. Ninguna de estas condiciones existe actualmente. En la medida en que no se adopten cambios institucionales, tampoco es probable que se logre el aumento de la productividad que es necesario. Tal vez nos inclinamos a insistir en la eficiencia de la utilización del agua desde el punto de vista de la agricultura, pero no se pueden pasar por alto los problemas especiales de la minería, las industrias manufactureras y la energía termoeléctrica en las provincias del Norte. Como se hizo notar, nuestras proyecciones, al poner énfasis como lo hacen en las pérdidas más bien que en la captación, presuponen en los usos no agrícolas un alto grado de eficiencia técnica y en la agricultura un grado de eficiencia comparable con el que se prevé para California en 1980. La cuestión está en saber si la estructura jurídico-económica producirá el grado de eficiencia que exigen las necesidades previstas

La posibilidad de que los costos marginales del agua varíen considerablemente entre las regiones del país, según que tengan escasez o excedente de agua -admitido un amplio margen de error en los valores con que se han hecho los cálculos-, es claro indicio de que han de realizarse estudios detallados de los planes económicos regionales, tomando en consideración tanto los costos de transporte y las preferencias de residencia, como los costos mismos del agua. Es posible lograr ahorros apreciables de capital estimulando un crecimiento del uso municipal e industrial del agua en la parte sur del Valle Central, mayor del previsto, con una reducción correspondiente en la parte norte del Valle Central y en las provincias situadas más al norte. Esta conclusión parece especialmente valedera si se comprueba la necesidad de un mayor grado de tratamiento de desechos y de caudales de dilución para mantener el contenido de oxígeno. La conveniencia de estimular una modalidad de concentración urbana diferente de la prevista guardará relación muy íntima con la cuestión de la calidad del agua

Si resulta que en el Norte Grande existe tierra susceptible de riego en extensiones mayores que las limitadísimas ahora regadas en Antofagasta y Tarapacá, entonces el aumento del abastecimiento de agua de la región mediante importación o desalación se convierte en una especulación atractiva, sobre todo si tales tierras pueden encontrarse a relativamente poca altura, donde la temporada de cultivo dura todo el año. Si los suelos desérticos chilenos son como los de otros países, su abundancia en minerales puede colocarlos entre los más productivos del país, justificándose gastos para el abastecimiento de agua que ahora parecen absurdos. La posibilidad de una serie de trasvases de agua de una cuenca a otra, yendo de sur a norte, tampoco debe descartarse sin estudiarla a fondo, en vista de los grandes adelantos que se han logrado en la tecnología de excavaciones en gran escala.

Nuestras conclusiones no sólo apuntan a los probables problemas de un futuro remoto, sino que también dan indicios para una política a corto plazo. La escasez de información fidedigna y los inciertos procedimientos financieros que se han seguido para suministrar agua municipal y de riego, indican que el bienestar general sólo se ha visto realzado ocasionalmente, si es que lo ha sido, por los gastos públicos en recursos hidráulicos. No cabe mucha duda de que ha habido una transferencia de ingreso del público en general a los beneficiarios de las obras públicas hidráulicas, con excepción tal vez de la energía hidroeléctrica<sup>1/</sup>. Las transferencias de ingreso no son en sí convenientes ni

---

<sup>1/</sup> Aunque no se ha hecho un estudio de las actividades de la ENDESA, parece que los consumidores de energía pagan por lo que reciben, y que no son importantes las transferencias de ingreso.

inconvenientes, pero en el caso de las aguas para uso municipal y para riego no se han tenido en cuenta en las leyes con arreglo a las cuales se abastecen los servicios<sup>2/</sup>. En vista de los aumentos probables en los costos marginales del agua, la cuestión de las transferencias de ingreso se hará más apremiante. ¿Quién deberá pagar, el contribuyente, el usuario del agua, alguna entidad extranjera o alguna combinación de estos elementos? El sistema actual, conforme al cual los pagos sólo guardan remota relación con los beneficios, dentro del marco de una ley que presupone otra cosa, no podrá menos de dar resultados inconvenientes si éstos se miden con arreglo a la eficiencia económica.

Cabe pensar que el uso de los escasos recursos de capital y la menguada dotación de profesionales mejoraría en Chile si en uno o dos años se desplegaran esfuerzos masivos por recopilar, perfeccionar y analizar sistemáticamente los datos relativos a la tierra y el agua disponibles, por instituir nuevos programas de recopilación de datos y por analizar los proyectos terminados.

No hay duda que los programas de obras públicas son parte integrante del desarrollo económico, pero también es esencial que las decisiones acerca de nuevas obras hidráulicas se basen en un conocimiento adecuado. Actualmente se observan graves deficiencias en conocimientos tan esenciales como la cantidad de tierra de riego y de tierra de secano arable, los coeficientes de uso del agua, la escorrentía, las calidades de los suelos, los embalses, las tasas de evaporación, las características del agua y otras características técnicas de la agricultura, así como sobre las modalidades óptimas en el uso de la tierra.

Los planes para una rápida expansión de la superficie regada parecen irreales dada la experiencia de los últimos treinta años, en los que el riego se extendió a un total de 116 000 nuevas hectáreas. Tampoco es realista separar el aumento necesario de la productividad agrícola y la necesidad de mejorar la regularidad del abastecimiento de agua. Esto significa dar prioridad a las obras que sirvan mejor a la tierra cuya disponibilidad actual de agua es tan irregular que los agricultores no se deciden a hacer las inversiones complementarias necesarias. Los métodos para fijar las prioridades de las nuevas construcciones y los procedimientos empleados para estimar los costos, para contratar servicios y para reembolsarlos están sujetos a tensiones que varían continuamente y que también continuamente es preciso revisar. Esta revisión no sólo es obligatoria sino que supone una pesada carga dada la limitada oferta de profesionales. La rapidez con la que puedan iniciarse nuevos proyectos estará supeditada a la capacidad de los profesionales para evaluar satisfactoriamente los proyectos.

No se puede exagerar la urgencia con que se ha de elevar la producción por hectárea, ya que ninguna otra manera de alimentar a la población de Chile parece más promisoría. Los actuales planes del gobierno chileno<sup>3/</sup> prevén durante el período 1965-70 los aumentos de la producción por hectárea indicados en el cuadro 44.

---

<sup>2/</sup> No poseemos datos sobre la incidencia del sistema tributario chileno. Es posible que tal sistema sea regresivo. En tal caso, el efecto de las transferencias de ingreso ha sido hacer más pobres a los pobres y más ricos a los ricos, resultado que podría producirse incluso si el sistema tributario fuera progresivo. El sistema tributario chileno (Santiago, Oficina de Estudios Tributarios, 1960), capítulo 5, "Progresividad del sistema tributario".

<sup>3/</sup> Información proporcionada por Klaus Gerber, de la Oficina Nacional de Planificación (ODEPLAN).



Cuadro 44

## AUMENTO DE PRODUCCION POR HECTAREA PREVISTOS DE 1965 A 1970

Productos	Porcentaje de incremento	Productos	Porcentaje de incremento
Trigo	22	Ajo	8-24
Arroz	20	Cebollas	10-20
Mafz	28-40	Frutas	0
Cereales	24	Uvas	10
Frejoles	11	Ganado y aves de corral	4
Semillas oleaginosas	11-24	Leche	21
Semillas de girasol	25	Lana	3
Colza	0-15	Total del ganado y los productos derivados	8
Remolacha azucarera	0	Total de la agricultura, excepto el ganado	17-18
Papas	10		
Hortalizas	3-4		

La tasa prevista de aumento de la productividad por hectárea, promediada entre los sectores agrícola y ganadero a base de los valores relativos de la producción en 1959-60, sería 14 por ciento en el quinquenio 1965-70. Si esta tasa de mejoramiento se alcanza y se mantiene en los tres quinquenios siguientes, la producción agropecuaria total por hectárea habría crecido en 70 por ciento de 1965 a 1985, quedando en ese último año una insuficiencia de 25 por ciento con respecto a las necesidades previstas. A menos que los objetivos de productividad se eleven, es de temer que la demanda de alimentos y fibras siga presionando el balance de pagos de Chile indefinidamente en el futuro, con los efectos adversos correspondientes sobre el resto de la economía<sup>4/</sup>.

Confiábamos en que este estudio ahondara nuestra comprensión del papel del agua en el desarrollo nacional, junto con darnos una evaluación del estado actual de la información a la luz de lo que se requiere para que se puedan adoptar decisiones económicas (esto es, que reduzcan al mínimo el costo y eleven al máximo la producción) en lo relativo a los recursos hidráulicos. Se pueden obtener varias conclusiones: 1) la mayor parte de las obras públicas que no dieron resultado anteriormente deben su fracaso a la falta de datos fidedignos sobre caudales, suelos y posibilidades de las tierras; 2) no ha habido, por parte del sector público, un programa sistemático de recopilación de datos sobre aguas subterráneas, calidad del agua y utilización del agua por la agricultura, la industria y las municipalidades; 3) en los últimos quince años, diversos estudios relacionados con los recursos hidráulicos de Chile han coincidido en señalar las mismas deficiencias.

También hay que percatarse de la posible inaplicabilidad del análisis económico a la política que efectivamente se decida adoptar. Salta a la vista que el malestar económico de Chile no se puede achacar a la falta de agua o a la falta de tierra, ya que ambas se utilizan ahora con eficiencia relativamente baja. Además, si no se sabe por qué se

<sup>4/</sup> El Sr. Alvaro Marfán J., en carta del 30 de enero de 1967, señaló que el Gobierno de Chile se propone fomentar la sustitución de cultivos de poco valor por otros de valor elevado, para provocar un incremento en la productividad por hectárea superior al que denota el aumento de la producción por hectárea de cada cultivo. Si el reordenamiento de las modalidades de cultivo tiene éxito, se podría alcanzar el incremento necesario de la productividad, tal como ha sido proyectado, ya sea directamente o por medio del comercio exterior, suponiendo que los productos importados se comercializaran a precios iguales a los chilenos.

ha prestado tan poca atención a los informes ya escritos, a los análisis ya hechos y a los remedios ya indicados, no es mucho más lo que podemos avanzar en el estudio de las relaciones entre recursos naturales y desarrollo económico. De ahí se sigue que la comprensión del papel de los recursos hidráulicos en el desarrollo económico se funda en un conocimiento de la motivación, de los hábitos de pensamiento, de la distribución del poder económico y político y de los factores que fomentan o inhiben su modificación.<sup>5/</sup>

El "análisis económico" de los recursos hidráulicos de Chile sólo viene al caso si existe acuerdo entre el analista y las autoridades chilenas respecto a la importancia de la eficiencia económica, como objetivo, y a las limitaciones dentro de las cuales se debe procurar el logro de ese objetivo. No hay razones para creer que existe tal acuerdo y podríán citarse ejemplos que así lo prueban. Esta falta de armonía puede explicar el olvido a que han quedado relegados estudios anteriores.

Dentro del ancho campo del desarrollo económico, la utilización ineficiente del agua no tiene por qué ser de mayor trascendencia que el derroche de tierra, mano de obra y equipo. La atención que se presta al agua obedece a otros motivos, a saber:

- 1) A que gran parte del desarrollo dependerá en el futuro de la financiación pública, supeditada a las fuerzas presupuestarias gubernamentales más bien que a los controles más descentralizados del mercado privado. (Este contraste queda debilitado por el gran número de controles gubernamentales sobre el mercado privado.)
- 2) A que el uso eficiente del agua puede tener un importante efecto catalizador sobre los espinudos asuntos de la reforma agraria y la propiedad de la tierra. El hecho de que el abastecimiento de agua tenga características de servicio de utilidad pública constituye un instrumento cuyo legítimo ejercicio de poder sobre la propiedad privada en bien del interés público encuentra una razonable aceptación.
- 3) A que las limitaciones a la actividad que impone la distribución geográfica de la tierra y el agua reduce la indeterminación a que hace frente el planificador regional al dar cabida a diversas posibilidades interregionales dentro de un conjunto dado de valores nacionales de producción. La indeterminación se puede reducir aún más estudiando más a fondo la cuestión de las limitaciones de costo y resolviendo el problema de la calidad del agua. Si bien las innovaciones tecnológicas pueden ampliar más adelante la gama de posibles distribuciones regionales de la actividad, el riesgo de error no es más grande que el de cualquier otro sector de la planificación.
- 4) A que la amplitud de los datos que se necesitan y la red de decisiones que se enlazan con el proceso de aprovechar y utilizar el agua eficientemente, requieren el concurso de muchas y diversas ciencias sociales y físicas, estableciendo sus conexiones mutuas con una claridad no igualada por muchas otras actividades.

---

<sup>5/</sup> El interés del autor por ahondar en este tipo de reflexiones lo condujo a la lectura del libro de Everett E. Hagen, On the theory of social change (Homewood, Ill., Porsey, 1962). Esta obra es de lectura indispensable para todo aquel que se halle interesado en el desarrollo económico.

### Lo que aún queda por hacer

La terminación de este estudio debiera ser la iniciación de otro, ya que es mucho lo que queda por hacer. Primero habría que subsanar las deficiencias de los datos que ya se han indicado. Sería tedioso resumirlas. Se refieren a todos los aspectos de las medidas de hidrología, ingeniería y economía que inciden en la eficaz planificación del uso de las aguas.

Además de la adquisición sistemática de datos fundamentales, la aportación más útil que se podría hacer para comprender la demanda de agua sería un modelo del sector agrícola que revelase la gama de cultivos, el volumen y la distribución regional de la producción agrícola, así como el ingreso marginal que el agua rinde en determinadas condiciones. Desde el punto de vista del abastecimiento, la aportación más útil sería una lista de emplazamientos de embalses en cada cuenca, relacionados sistemáticamente con los aumentos de control sobre el caudal y provistos de información sobre los costos de almacenamiento y de aducción a los puntos de uso. También deberían estudiarse los costos de la desalación del agua de mar, de los trasvases de agua de una cuenca a otra y de la explotación del agua subterránea, así como los costos de reducir el derroche a fin de evitar la necesidad de mayor regulación. Es probable que en algunos lugares existan aguas salobres y que su desalación pueda ser económicamente factible en un futuro no demasiado lejano.

La cuestión de la calidad del agua apenas si ha sido abordada por las autoridades chilenas, pero no tardará en hacerse muy apremiante. En la región que rodea a Santiago, la contaminación será de origen urbano. Más al norte, los caudales pueden mineralizarse demasiado aguas abajo para que se vuelvan a usar si el riego se amplía hasta el límite de las disponibilidades de agua. En tales circunstancias, la necesidad de agua tal vez incluya caudales de dilución de desechos, en cuyo caso el modelo correspondiente supondría una demanda compuesta de las pérdidas aguas arriba y del más grande de estos dos valores: caudales de dilución de desechos o captación aguas abajo. Incluso los usos urbanos pueden contribuir al incremento de la salinidad, y la posibilidad de daños ocasionados por los detergentes también será causa de preocupación a medida que Santiago crece y se eleva el nivel del ingreso (junto con difundirse las instalaciones sanitarias domésticas). Con las incógnitas de los problemas de calidad del agua se relaciona la suerte de las pesquerías costeras y de agua dulce, junto con las precauciones que se deben tomar a fin de que las playas marítimas y los lagos sean conservados para fines de esparcimiento. También guarda relación con la calidad del agua la cuestión de los costos de tratamiento. ¿Son los costos chilenos la mitad de los estadounidenses, como hemos supuesto, o son iguales o tal vez superiores?

El lector observará que no se ha dicho nada de los derechos de agua y de la organización administrativa, aunque ningún programa de planificación de recursos hidráulicos pudiera pasar por alto tales aspectos. Tampoco se habló mucho de los problemas de análisis beneficio-costos y de la recuperación de los gastos gubernamentales, especialmente en condiciones de una inflación persistente y relativamente aguda (aunque no desenfrenada). Con estas cuestiones se relaciona el asunto de los proyectos de finalidad múltiple o única, y las técnicas de análisis, construcción y administración que se deben adoptar para garantizar la obtención del máximo beneficio y la distribución equitativa de los costos.

## Apéndice

### TABLAS DE COSTO DE CAUDALES

Cuadro 1

TARAPACA: COSTO DE MANTENCION DEL CAUDAL

Almacenamiento (millones de m <sup>3</sup> )	Caudal mínimo neto (millones de m <sup>3</sup> /año	Costos de capi tal acu mula dos de almace namien to (mi les de escudos) a/	Costos anuales acumu lados de alma cena miento (escudos)	Costo margi nal anual por mi llón de m <sup>3</sup> /año de cau dal mí nimo	Costo marginal (dólares/ pie por acre de caudal mínimo)
-	41.0				
0.5	46.0	100	8 170	1 634	0.63
1.0	50.9	200	16 340	1 634	0.63
2.0	55.8	400	32 680	3 333	1.28
5.0	63.5	1 000	81 700	6 366	2.43
8.0	67.2	1 600	130 720	13 249	5.10
10.0	69.5	2 000	163 400	14 209	5.47
15.0	72.5	3 000	245 100	27 233	10.05
20.0	75.0	4 000	326 800	32 680	12.96
25.0	77.0	5 000	408 500	40 850	15.75
30.0	78.5	6 000	490 200	54 466	20.93
35.0	79.5	7 000	571 900	81 700	31.49
40.0	80.4	8 000	653 600	90 778	35.00
44.7	81.2	8 940	730 400	96 000	37.00

a/ Valores en escudos a precios de 1964 en los cuadros 1 al 11.

Cuadro 2

## ANTOFAGASTA: COSTO DE MANTENCION DEL CAUDAL

Almacenamiento (millones de m <sup>3</sup> )	Caudal mínimo (millones de m <sup>3</sup> /año)	Costos de capital acumulados de almace namiento (miles de escudos)	Costos anuales acumulados de alma cenamiento (escudos)	Costo marginal anual por millón de m <sup>3</sup> /año de caudal mínimo (escudos)
-	81.0			
2	91.8	400	32 680	3 026
3	95.0	600	49 020	5 106
4	97.3	800	65 360	7 104
5	98.9	1 000	81 700	10 213
6	100.9	1 200	98 040	16 340
7	101.7	1 400	114 380	20 425
8	102.5	1 600	130 720	20 425
8.8	103.1	1 760	143 792	21 787

Cuadro 3

## ATACAMA: COSTO DE MANTENCION DEL CAUDAL

Almacenamiento (millones de m <sup>3</sup> )	Caudal mínimo neto (mi llones de m <sup>3</sup> /año)	Costos de capital acumula dos de almace namiento (escudos)	Costos anua les acumula dos de alma cenamiento (escudos)	Costo marginal anual por millón de m <sup>3</sup> /año de caudal mínimo (escudos)
-0	88.0	0	0	0
190	177.6	19 000	1 552 300	17 325
280	191.4	32 500	2 655 250	79 924
320	197.2	40 500	3 308 850	112 690
340	199.6	44 500	3 635 650	136 167
360	201.0	48 500	3 962 450	233 429
370	201.2	50 500	4 125 850	817 000

Cuadro 4

## COQUIMBO: COSTO DE MANTENCION DEL CAUDAL

Almacenamiento (millones de m <sup>3</sup> )	Caudal mínimo neto (mi- llones de m <sup>3</sup> /año)	Costos de capital acumulados de almace- namiento (miles de escudos)	Costos anua- les acumula- dos de alma- cenamiento (escudos)	Costo marginal anual por millón de m <sup>3</sup> /año de caudal mínimo (escudos)
-	227.7			7 268
770	665.0	38 500	3 145 450	26 664
1 270	741.6	63 500	5 187 950	70 028
1 570	767.7	87 500	7 148 750	81 700
1 770	783.6	103 500	8 455 950	169 766
1 920	791.3	118 500	9 681 450	181 556
2 020	795.8	128 500	10 498 450	551 475
2 110	797.8	142 000	11 601 400	
2 190	797.8			
2 270	797.8			
2 310	797.8			
2 350	797.8			
2 390	797.8			
2 430	797.8			
2 470	797.8			
2 490	797.8			
2 500	797.8			
2 510	797.8			
2 520	797.8			

Cuadro 5

## ACONCAGUA-VALPARAISO: COSTO DE MANTENCION DEL CAUDAL

Almacenamiento (millones de m <sup>3</sup> )	Caudal mínimo neto (mi- llones de m <sup>3</sup> /año)	Costos de capital acumulados de almace- namiento (miles de escudos)	Costos anua- les acumula- dos de alma- cenamiento (escudos)	Costo marginal anual por millón de m <sup>3</sup> /año de caudal mínimo (escudos)
-	411.8			
780	1 057.7	39 000	3 186 300	4 933
1 280	1 183.4	64 000	5 228 800	16 249
1 580	1 226.4	88 000	7 189 600	45 600
1 780	1 248.4	104 000	8 496 800	59 418
1 940	1 265.4	120 000	9 804 000	76 894
2 040	1 275.4	130 000	10 621 000	81 700
2 130	1 282.4	143 000	11 723 950	157 564
2 220	1 288.4	157 000	12 826 900	183 825
2 300	1 293.1	169 000	13 807 300	208 596
2 340	1 295.4	177 000	14 460 900	284 174
2 380	1 297.7	185 000	15 114 500	284 174
2 420	1 300.0	193 000	15 768 100	284 174
2 460	1 302.3	201 000	16 421 700	284 174
2 500	1 304.6	209 000	17 075 300	284 174
2 550	1 306.3	219 000	17 892 300	480 588

Cuadro 6

## SANTIAGO: COSTO DE MANTENCION DEL CAUDAL

Almacenamiento (millones de m <sup>3</sup> )	Caudal mínimo neto (mi- llones de m <sup>3</sup> /año)	Costos de capital acumula- dos de almacena- miento (miles de escudos)	Costos anua- les acumula- dos de alma- cenamiento (escudos)	Costo marginal anual por millón de m <sup>3</sup> /año de caudal mínimo (escudos)
-	1 340.3			
1 000	2 541.4	50 000	4 085 000	3 401
1 800	2 908.5	90 000	7 353 000	8 902
2 370	3 037.2	118 500	9 681 450	18 092
2 710	3 118.6	145 700	11 903 690	27 300
2 880	3 150.1	162 700	13 292 590	44 092
3 050	3 181.6	179 700	14 681 490	44 092
3 140	3 205.6	193 200	15 784 440	45 956
3 220	3 220.3	205 200	16 764 840	66 694
3 260	3 227.6	213 200	17 418 440	89 534
3 300	3 234.9	221 200	18 072 040	89 534
3 340	3 242.2	229 200	18 725 640	89 534
3 380	3 249.5	237 200	19 379 240	89 534
3 385	3 250.2	238 200	19 460 940	116 714



Cuadro 7

## O'HIGGINS-COLCHAGUA: COSTO DE MANTENCION DEL CAUDAL

Almacenamiento (millones de m <sup>3</sup> )	Caudal mínimo neto (mi- llones de m <sup>3</sup> /año)	Costos de capital acumula- dos de almacena- miento (miles de escudos)	Costos anua- les acumula- dos de alma- cenamiento (escudos)	Costo marginal anual por millón de m <sup>3</sup> /año de caudal mínimo (escudos)
	1 807.0			
3 320	5 914.6	166 000	13 562 200	3 302
4 320	6 288.9	216 000	17 647 200	10 914
4 940	6 466.6	265 600	21 699 520	22 804
5 260	6 552.2	297 600	24 313 920	30 542
5 560	6 628.7	327 600	26 764 920	32 039
5 870	6 700.1	374 100	30 563 970	53 208
6 070	6 748.1	414 100	33 831 970	68 083
6 175	6 771.8	435 100	35 547 670	72 392

Cuadro 8

## CURICO-LINARES: COSTO DE MANTENCION DEL CAUDAL

Almacenamiento (millones de m <sup>3</sup> )	Caudal mínimo neto (mi- llones de m <sup>3</sup> /año)	Costos de capital acumulados de almace- namiento (miles de escudos)	Costos anua- les acumula- dos de alma- cenamiento (escudos)	Costo marginal anual por millón de m <sup>3</sup> /año de caudal mínimo (escudos)
-	3 721.3			
15 000	18 300	750 000	61 275 000	4 203
24 600	21 008	1 230 000	100 491 000	14 482
26 600	21 552	1 390 000	113 563 000	24 029
28 600	21 996	1 550 000	126 635 000	38 000
29 600	22 168	1 630 000	133 171 000	38 000
30 400	22 290	1 710 000	139 707 000	53 574
31 200	22 412	1 790 000	146 243 000	53 574
31 700	22 479	1 865 000	152 370 000	91 867
32 200	22 515	1 940 000	158 498 000	166 962
32 400	22 526	1 980 000	161 766 000	305 421
32 600	22 537	2 020 000	165 034 000	305 421
32 800	22 538	2 060 000	168 302 000	4 668 571

Cuadro 9

## ÑUBLE: COSTO DE MANTENCION DEL CAUDAL

Almacenamiento (millones de m <sup>3</sup> )	Caudal mínimo neto (mi- llones de m <sup>3</sup> /año)	Costos de capital acumula- dos de almacena- miento (miles de escudos)	Costos anua- les acumula- dos de alma- cenamiento (escudos)	Costo marginal anual por millón de m <sup>3</sup> /año de caudal mínimo (escudos)
-	1 198.4			
5 000	5 374.3	250 000	20 425 000	4 891
8 400	6 101.0	420 000	34 314 000	19 112
9 100	6 224.2	476 000	38 889 200	37 136
9 600	6 312.2	516 000	42 157 200	37 136
10 100	6 400.2	556 000	45 425 200	37 136
10 400	6 441.2	586 000	47 876 200	59 780
10 700	6 467.2	616 000	50 327 200	94 269
10 900	6 489.2	646 000	52 778 200	111 409
11 000	6 500.2	661 000	54 003 700	111 409
11 100	6 511.2	681 000	55 637 700	148 545
11 200	6 520.2	701 000	57 271 700	181 556
11 250	6 524.2	711 000	58 088 700	204 250

Cuadro 10

## CONCEPCION-CAUTIN: COSTO DE MANTENCION DEL CAUDAL

Almacenamiento (millones de m <sup>3</sup> )	Caudal mínimo neto (millones de m <sup>3</sup> /año)	Costos de capital acumulados de almace- namiento (miles de escudos)	Costos anua- les acumula- dos de alma- cenamiento (escudos)	Costo marginal anual por millón de m <sup>3</sup> /año de caudal mínimo (escudos)
-	11 966.4			
10 000	36 857.1	500 000	40 850 000	1 641
20 000	46 414.2	1 000 000	81 700 000	4 274
30 000	53 071.3	1 500 000	122 550 000	6 136
34 000	55 314.2	1 700 000	138 890 000	7 285
36 800	56 958.2	1 924 000	157 190 800	11 132
38 800	57 818.2	2 084 000	170 262 800	15 200
40 800	58 678.2	2 244 000	183 334 800	15 200
42 100	59 345.7	2 374 000	193 955 800	15 912
43 100	59 820.7	2 474 000	202 125 800	17 200
43 600	60 104.0	2 549 000	208 253 300	21 629
44 100	60 287.3	2 624 000	214 380 800	33 429
44 500	60 423.9	2 684 000	219 282 800	35 886
44 800	60 543.9	2 744 000	224 184 800	40 850
45 100	60 653.9	2 804 000	229 086 800	44 563
45 361	60 732.2	2 856 200	233 351 540	54 467

Cuadro 11

## VALDIVIA-LLANQUIHUE; COSTO DE MANTENCION DEL CAUDAL

Almacenamiento (millones de m <sup>3</sup> )	Caudal mínimo neto (millones de m <sup>3</sup> /año)	Costos de capital acumulados de almace- namiento (miles de escudos)	Costos anua- les acumula- dos de alma- cenamiento (escudos)	Costo marginal anual por millón de m <sup>3</sup> /año de caudal mínimo (escudos)
-	24 670.6			
10 900	49 075.4	545 000	44 526 500	1 824
20 900	58 761.1	1 045 000	85 376 500	4 218
30 900	65 546.8	1 545 000	126 226 500	6 020
34 100	67 395.6	1 801 000	147 141 700	11 313
37 100	68 847.6	2 041 000	166 749 700	13 504
38 200	69 425.6	2 151 000	175 736 700	15 548
39 200	69 805.6	2 251 000	183 906 700	17 021
39 800	70 089.6	2 341 000	191 259 700	25 891
40 400	70 323.6	2 431 000	198 612 700	31 423
40 900	70 510.3	2 531 000	206 782 700	43 760
41 228	70 615.5	2 596 600	212 142 220	50 946

Cuadro 12

## ATACAMA: CASO EN QUE SE CONSTRUYERAN PRIMERO LOS EMBALSES PEQUEÑOS

Almacenamiento (millones de m <sup>3</sup> )	Caudal mínimo neto (millones de m <sup>3</sup> /año)	Costos de capital acumulados de almace- namiento (miles de escudos)	Costos anua- les acumula- dos de alma- cenamiento (escudos)	Costo marginal anual por millón de m <sup>3</sup> /año caudal mínimo (escudos)
	88.0			
10	116.2	2 000	163 400	5 794
30	131.6	6 000	490 200	21 221
50	139.0	10 000	817 000	44 162
90	152.8	18 000	1 470 600	47 362
180	173.6	31 500	2 573 550	53 026
370	201.2	50 500	4 125 850	56 243

Cuadro 13

## SANTIAGO: CASO EN QUE SE CONSTRUYERAN PRIMERO LOS EMBALSES PEQUEÑOS

Almacenamiento (millones de m <sup>3</sup> )	Caudal mínimo neto (millones de m <sup>3</sup> /año)	Costos de capital acumulados de almace- namiento (miles de escudos)	Costos anua- les acumula- dos de alma- cenamiento (escudos)	Costo marginal anual por millón de m <sup>3</sup> /año caudal mínimo (escudos)
	1 340.3			
5	1 419.7	1 000	81 700	1 029
45	1 537.0	9 000	735 300	5 572
85	1 604.3	17 000	1 388 900	9 712
125	1 671.6	25 000	2 042 500	9 712
165	1 733.9	33 000	2 696 100	10 491
245	1 853.6	45 000	3 676 500	8 190
335	1 977.6	58 500	4 779 450	8 895
505	2 169.1	75 500	6 168 350	7 253
675	2 330.6	92 500	7 557 250	8 600
1 015	2 587.0	119 700	9 779 490	8 667
1 585	2 780.7	148 200	12 107 940	12 021
2 385	3 007.8	188 200	15 375 940	14 390
3 385	3 250.2	238 200	19 460 940	16 852

## BIBLIOGRAFIA

- Basso S. (Eduardo), Inventario de recursos hidrológicos superficiales de Chile. Santiago: Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Planeamiento, 1963.
- Bell (Ralph M. ), Irrigation and methods of irrigation. Informe n° 879 al Gobierno de Chile. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), 1958.
- Chávez S. (Jorge), Informe preliminar. Santiago: Corporación de Fomento de la Producción, (CORFO), 7 de octubre de 1963 (mimeografiado).
- Chile, Ministerio de Agricultura, La agricultura chilena en el quinquenio 1951-1955. Santiago, 1957.
- Chile, Ministerio de Agricultura, La agricultura chilena en el quinquenio 1956-1960. Santiago, 1963.
- Chile, Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Planeamiento, Antecedentes para el planeamiento provincial de obras públicas. Vol. I: Generales e inversiones. Santiago, octubre de 1963.
- Chile, Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Riego, Capacidad de riego actual de los ríos de la Zona Central de Chile. Santiago, enero de 1967 (mimeografiado).
- Chile, Ministerio de Hacienda, Dirección de Presupuesto, Oficina de Estudios Tributarios, El sistema tributario chileno. Santiago, 1960.
- Comité Interamericano de Desarrollo Agrícola (CIDA), Estudio sobre la tenencia de la tierra en Chile. Santiago, 1964 (mimeografiado).
- Chile, Corporación de Fomento de la Producción (CORFO), Programa nacional de desarrollo económico, 1961-1970. Santiago, 1960.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Yearbook of food and agricultural statistics: Production, vol. VI, parte 1ª Roma, 1952.
- Naciones Unidas, Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y Comisión Económica para América Latina (CEPAL), El papel y la celulosa en América Latina: Situación actual y tendencias futuras de su demanda, producción e intercambio (E/CN.12/570/Rev.2), abril de 1965 (mimeografiado).

- Fox (Irving K.) y Herfindahl (Orris C.), "Attainment of efficiency in satisfying demands for water resources", Proceedings, American Economic Association, mayo de 1964.
- Hagen (Everett H.), On the theory of social change. Homewood, Ill.: Dorsey, 1962.
- Hansen (Norman), Baeza (H.) y Parker (J.), Proyecciones de la demanda de agua en Chile y su repartición geográfica para los próximos 20 años. Santiago: Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Planeamiento, 1962.
- Ibáñez (Fernán), Harboe (Ricardo) y Poblete (Juan Antonio), Estudio de la disponibilidad de recursos hidráulicos en Chile. Publicación n° 655/B. Santiago: Universidad de Chile, Centro de Planeamiento, 1965.
- Misión Conjunta del Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento (BIRF) y la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), The agricultural economy of Chile. Washington, 1952 (mimeografiado).
- National Association of Manufacturers, Water in industry. Nueva York, 1950.
- Pourtauborde (Jean), El riego en Chile. Informe n° 1622. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la alimentación (FAO), 1962.
- Reid (George), Water requirements for pollution abatement. Statement before Select Committee on National Water Resources, pursuant to S. Res. 48, 86th Congress, 1st session, Committee Print n° 29. Washington: U.S. Government Printing Office, 1960.
- Sadie (Johannes L.), Población y mano de obra de Chile, 1930-1975. Santiago: Centro Latinoamericano de Demografía (CELADE), 1964.
- Stamp (L. Dudley), Our undeveloped world. Londres: Faber & Faber, 1953.
- Naciones Unidas, Comisión Económica para América Latina (CEPAL), Boletín Estadístico de América Latina, vol. I, n° 1 (1964); vol. II, n°s 1 y 2 (1965); vol. III, n° 1 (1966).
- Naciones Unidas, Comisión Económica para América Latina (CEPAL), Estudios sobre la electricidad en América Latina (E/CN.12/630), vols. I y II (N° de venta: 63. II.G.3).
- Naciones Unidas, Comisión Económica para América Latina (CEPAL), Los recursos hidráulicos de América Latina: I. Chile (E/CN.12/501), denominado CEPAL en el texto (N° de venta: 60. II. G. 4).
- Naciones Unidas, Comisión Económica para América Latina (CEPAL), Medición del nivel de precios y el poder adquisitivo de la moneda en América Latina, 1960-62 (E/CN.12/653), 31 de marzo de 1963 (mimeografiado).
- Naciones Unidas, Departamento de Asuntos Económicos y Sociales, Water for industrial use. Nueva York, 1958.

United States Commission on Organization of the Executive Branch of the Government, Task force report on water resources and power, vol. II. Washington: Government Printing Office, junio de 1955.

United States Department of Agriculture, Land and water potentials and future requirements for water. Report to U. S. Senate Select Committee on National Water Resources, Committee Print n° 12. Washington: Government Printing Office, 1960.

United States Geological Survey, Reservoirs in the United States, Water-Supply Paper 1360-A. Washington: Government Printing Office, 1956.

Universidad de Chile, Instituto de Economía, La economía de Chile en el período 1950-1963. Santiago, 1963.

Villarroel B. (René) y Horn F. (Heinrich), Rentabilidad de las obras de regadío en explotación construidas por el Estado. Santiago: Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Planeamiento, junio de 1963.

