

8 2 7

CO 84

FONADE
DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACION

ESTUDIO NACIONAL DE AGUAS

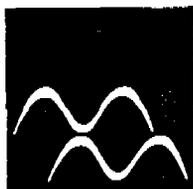
VOLUMEN 7

USO DEL AGUA EN CONSUMO HUMANO E INDUSTRIAL
MODELO DE PRIORIZACION DE INVERSIONES
(ANEXOS : D1 y D2)

INFORME FINAL
PRIMERA FASE

Bogotá, Abril 1984

LIBRARY KD 5400
Instituto de Planeación y Estudios
por Comunidad



CONSULTORES

MEJIA MILLAN Y PERRY LTDA.

824 MR 82 -
5400

INDICE - ANEXO D.1 -

	Página
INTRODUCCION - ASPECTOS METODOLOGICOS DE LA INVESTIGACION DE LA DEMANDA POR AGUA PARA CONSUMO HUMANO E INDUSTRIAL	D.1.1
1. Demanda Residencial de agua	
2. Demanda Industrial de agua	
A. AGUA PARA CONSUMO HUMANO	D.1.10
A.I LA DOTACION DE AGUA POTABLE EN COLOMBIA	D.1.12
1. Aspectos Institucionales	
2. El Estado Sanitario	
a. Sector urbano	
b. Sector rural	
3. Metas sectoriales	
A.II EL CONSUMO DE AGUA EN LAS PRINCIPALES CIUDADES	D.1.29
1. Bogotá	
2. Medellín	
3. Cali	
4. Barranquilla	
A.III ANALISIS DE LA DEMANDA RESIDENCIAL URBANA POR AGUA	D.1.53
1. Los resultados en Bogotá y Medellín	
2. Consumos municipales	
A.IV. CONSUMO RURAL DE AGUA	D.1.31
B EL CONSUMO DE AGUA EN EL SECTOR INDUSTRIAL	D.1.87
B.I LA DEMANDA INDUSTRIAL POR AGUA	D.1.90
B.II COEFICIENTES DE CONSUMO Y DE RETORNO DE AGUA EN LA INDUSTRIA COLOMBIANA	D.1.93
B.III LA DEMANDA DE AGUA PARA GENERACION TERMOELECTRICA	D.1.102
B.IV CONSUMO INDUSTRIAL DE AGUA POR CIUDADES	D.1.103
C. INFORMACION PARA LOS BALANCES ACTUALES	D.1.107
APENDICE 1. FORMULARIOS	D.1.111
APENDICE 2. CONSUMO HUMANO E INDUSTRIAL DE AGUA POR CUENCAS	D.1.116

ANEXO D1

DEMANDA DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO E INDUSTRIAL

INDICE DE CUADROS		PAGINA
<u>Cuadro No.</u>		
A.I.	1. Población total servida y cobertura del servicio de acueducto en cabeceras municipales 1981	D.1.15
	2. Cobertura por Entidad Administradora 1981	D.1.16
	3. Cobertura por el tamaño del Municipio 1981	D.1.17
	4. Desarrollo reciente del servicio de agua	D.1.20
	5. Cobertura por Departamento 1981	D.1.21
	6. Coberturas regionales 1981	D.1.22
	7. Capacidad de abastecimiento percapita 1981	D.1.23
	8. Capacidad de abastecimiento por suscriptor 1981	D.1.24
	9. Servicio de acueducto en el sector rural	D.1.27
	10. Decenio del agua - metas físicas	D.1.28
A.II.	11. Bogotá, servicio de acueducto 1982	D.1.31
	12. Consumo por tipo de usuario 1982	D.1.32
	13. Bogotá, consumo residencial por niveles de ingreso	D.1.33
	14. Bogotá, año 2000 Proyecciones de población	D.1.34
	15. Medellín servicio de acueducto 1981	D.1.38
	16. Medellín consumo por tipo de usuario 1981	D.1.40
	17. Medellín consumo residencial por niveles de ingreso	D.1.41
	18. Cali - servicio de acueducto 1982	D.1.45
	19. Cali - consumo por tipo de usuario 1982	D.1.46
	20. Cali - consumo residencial por niveles de ingresos	D.1.46
	21. Barranquilla servicio de acueducto 1982	D.1.50
	22. Barranquilla consumo por tipo de usuario 1982	D.1.50
	23. Barranquilla consumo residencial por nivel de ingreso 1982	D.1.52
A.III.	24. Elasticidades precio e ingreso en varios estud.	D.1.56
	25. Acueducto - Bogofa	D.1.60

		PAGINA
	26. Acueducto Medellín	D.1.63
	27. Producción y consumo de agua en las principales ciudades (miles de mts, ³)	D.1.66
	28. Resultados, encuesta Mejia Millán y Perry Municipal 1	D.1.68
	29. Base de datos para las regresiones de consumo Municipal 2	D.1.71
A.IV.	30. Consumo diario de agua en sistemas urbanos y rurales (litros per-capita-promedio díaño)	D.1.81
B.II.	31. Coeficientes de consumo de agua en la industria colombiana	D.1.96
	32. Coeficientes de retorno de agua en la industria colombiana	D.1.99
B.III.	33. Consumo de agua en generación termoeléctrica	D.1.104
B.IV.	34. Consumo industrial de agua por ciudades	D.1.106

ANEXO D1

INDICE DE GRAFICOS

Gráfico No.

A.I.	1. Estructura institucional del sector y acueductos	D.1.14
	2. Sistema general del uso del agua en la industria.	D.1.92

INTRODUCCION

ASPECTOS METODOLOGICOS DE LA INVESTIGACION DE LA DEMANDA POR AGUA PARA CONSUMO HUMANO E INDUSTRIAL

La derivación de funciones de demanda por agua a nivel residencial urbano y rural e industrial es uno de los puntos determinantes para la construcción de los modelos de balances regionales en el Estudio Nacional de Aguas. Enseguida se exponen el método y las ideas fundamentales a emplearse en el proceso de derivación.

1 DEMANDA RESIDENCIAL DE AGUA

Son numerosas las variables que determinan la demanda por agua a nivel residencial urbano en un momento dado del tiempo. Sin embargo, de la revisión de la amplia bibliografía sobre el tema las podemos agrupar en cinco factores así:

1. Demográfico
2. Nivel de ingreso
3. Tarifas
4. Clima
5. Otras variables socioeconómicas

La característica demográfica esencial que influye en el consumo de agua por vivienda o por suscriptor en una ciudad es el número de personas por familia o por vivienda. Se espera que el consumo per cápita disminuya a medida que aumente la densidad habitacional. Otras variables demográficas como crecimiento poblacional, cambio en densidades de vivienda, etc. son importantes en la derivación de funciones de demanda de mediano y corto plazo.

el nivel de ingreso está positivamente correlacionado con el consumo. Entre algunos de los indicadores posibles para esta medición se encuentran el ingreso per cápita o familiar, el valor de la vivienda y/o su área construida y otros relacionados con el ingreso tales como el número de baños por vivienda, la posesión de ciertos bienes como automóvil y lavadora, etc.

Sobre las tarifas de agua se espera que si estas aumentan se reduzca el consumo, aunque esto parece suceder a partir de un determinado nivel tarifario ^{1/}. Más importante puede ser la existencia o no de medidores de consumo ^{2/}.

En cuanto al clima, el consumo de agua per cápita debe aumentar con la temperatura y se considera uno de los factores más determinantes. Inclusive la aridez y el régimen de lluvias pueden determinar buena parte del consumo por vivienda como por ejemplo para irrigación de jardines.

^{1/} También hay que tener en cuenta cuál es la medida apropiada del precio del agua. Gibbs arguye que utilizando precios promedios en vez de precios marginales se sobreestima la respuesta del consumidor a cambios en precios e ingreso. "Prices Variables in Residential Water Demand Models". K.C. Gibbs, WRR, Feb. 1978.

^{2/} "Final and Summary Report on the Residential Water Project". Lineweaver-Geyer, 1966, WRR, Junio 1966. Aquí se demostró por ejemplo que el consumo de agua para propósito de riego de jardines en zonas urbanas es mucho menor en viviendas con medidores que en aquellas donde se cobra una tarifa fija.

Además, según varios estudios se pueden encontrar otra serie de factores que influyen en el consumo de agua tales como la calidad del servicio en referencia a la presión y fugas de agua, y a la calidad o tratamiento de ésta; el consumo de agua en el período inmediatamente anterior como se sugiere en la construcción de modelos dinámicos; e inclusive el tamaño mismo de la ciudad o factores culturales tales como educación o lugar de nacimiento.

El uso de la mayoría de las variables indicadas exigen de un nivel de información muy completo. Si consideramos que inclusive para obtener estadísticas básicas sobre acueducto y consumos municipales hemos encontrado dificultades, se comprende que la sofisticación de los modelos de demanda implica una gran dedicación al diseño y recolección de información.

En la presente investigación, el primer capítulo está dedicado a un análisis descriptivo de la situación actual de la dotación de agua potable en Colombia basados en las cifras periódicas recopiladas en el Estado Sanitario por el Departamento Nacional de Planeación.

En el capítulo AII sobre consumo urbano de agua se desarrolla una sección especial sobre las cuatro ciudades mas grandes del país, para las cuales se dispone de mejor información.

No es este el caso para la mayor parte de las ciudades y municipios que tendremos en cuenta en el Capítulo AIII y en base a las cuales derivaremos las funciones generales

de demanda. Para la mayoría de ellas no se cuenta con información de consumos de agua por nivel de ingreso. La alternativa es comparar los consumos per cápita de dichas ciudades, con algún indicador general e indirecto del nivel de ingreso sin distinguir estratos socioeconómicos ^{4/} o utilizar la información socioeconómica del último censo. De esta correlación del ingreso global para cada ciudad con sus consumos per cápita, se puede establecer una función de demanda del tipo señalado mas arriba en sección transversal.

Estas demandas se derivaron con la temperatura como variable independiente para todo el grupo de municipios.

En la construcción del modelo de demanda municipal agregado se tiene en cuenta únicamente el agua facturada en vez de la producción total de agua por el respectivo acueducto. El agua facturada se debe cruzar contra el número de instalaciones con medidor en servicio para obtener el dato específico de agua consumida. Además, como se señaló anteriormente, el porcentaje de medidores en servicio sobre el total de instalaciones es una variable que de por sí puede afectar la decisión de consumo y es posible introducirla en el modelo ^{5/}.

^{4/} Entre algunos posibles indicadores indirectos del nivel de ingreso municipal están, automóviles por habitante, impuestos pagados, movimiento bancario y energía eléctrica consumida.

^{5/} Para una discusión de las ventajas y desventajas de la utilización de modelos de demanda por agua de corte transversal y sus variables, ver Hanke-de Mare, 'Residential Water Demand: a pooled, Time Series, Cross Section Study of Malmo, Sweden' WRB. Agosto 1982.

Un problema adicional subsiste por el hecho de no contar para muchos de los municipios con información desagregada por tipo de usuario. En lo posible obtendremos el consumo facturado residencial excluyendo el industrial únicamente. Sin embargo, se hicieron también regresiones contra el total del agua facturada.

En cuanto a tarifas y elasticidades-precio, hay evidencias de serias dificultades en los resultados al involucrar esta variable en modelos transversales de demanda ^{6/}. El ejercicio realizado para Bogotá con una serie de tiempo de consumos y tarifas 1976-1983 en términos mensuales, no arrojó resultados satisfactorios.

Finalmente inspeccionamos la incidencia en el modelo de consumo per cápita municipales, de la variable número de habitantes por familia o por vivienda en cada municipio.

En resumen, en el estudio del consumo de agua potable en Bogotá y Medellín se hicieron regresiones en corte transversal así:

$$C_i = f (Y_i, H_i, R_i)$$

donde:

C_i = consumo per cápita en la zona i .

Y_i = ingreso per cápita en la zona i .

H_i = número de habitantes por vivienda en la zona i .

R_i = horas mensuales de racionamiento en la zona i .

^{6/} Hanke-De Mare, op. cit.

En el caso de la investigación de los consumos municipales las regresiones de corte transversal se hicieron con funciones del siguiente tipo:

$$C_i = f (Y_i, H_i, M_i, T_i, R_i, CA_i)$$

- c_i = consumo per cápita en el municipio i .
 Y_i = indicador del ingreso per cápita en el municipio i .
 H_i = número de habitantes por vivienda en el municipio i .
 M_i = porcentaje medidores en servicio en el municipio i .
 T_i = temperatura promedio en el municipio i .
 R_i = Porcentaje de racionamiento en el municipio i .
 CA_i = cobertura de alcantarillado en el municipio i .

Del conjunto de modelos derivados para explicar el consumo municipal de agua se selecciona finalmente uno para su aplicación a todos los municipios del país y obtener así la aproximación al consumo per cápita urbano requerido para los balances actuales del Estudio Nacional de Aguas. Estos modelos también serán la base para las proyecciones del consumo urbano que se realizarán en la Fase II del ENA.

En relación al consumo rural de agua, en el capítulo cuarto se exponen los principales elementos que lo determinan; sin embargo, dada la deficiencia estadística de este sector únicamente fué posible para la proyección de balances, utilizar los coeficientes de dotación según clima empleados por el Instituto Nacional de Salud para acueductos rurales.

DEMANDA INDUSTRIAL DE AGUA

Como se especificó en la propuesta inicial del ENA, se considera importante estimar en forma desagregada el consumo de agua para las ramas industriales intensivas en su uso. Las de bajo consumo, así como el sector comercial y otros, están incluidos dentro del consumo urbano. Por lo tanto, para las primeras se establecieron funciones de demanda, que permitan incluir este consumo en los balances que se realizarán en la segunda parte del ENA.

También en este caso son diversas las variables que pueden influir la demanda por agua. Además del volumen de la producción, inciden en el consumo las tarifas, los cambios tecnológicos, el tamaño de las empresas, el nivel de empleo ^{7/} el nivel de salarios ^{8/}, etc. El volumen de la producción parece ser la variable mas importante en el consumo de agua industrial, y para algunos países existen estimativos del consumo de agua por unidad de producción o por valor agregado para varios productos. Los cambios en las tarifas pueden tener una incidencia considerable en el consumo de agua.

^{7/} Ver De Roy, I. 'Price Responsiveness of the Industrial Demand for Water' WRR., Junio de 1974.

^{8/} Grebenstein, Charles. 'Substituting for Water Inputs in U.S. Manufacturing'. WRR., Abril de 1979

Inclusive niveles excesivos de estas pueden determinar la introducción de sistemas de recirculación del agua^{9/}. El tamaño mismo de la empresa puede ser una variable determinate^{10/} y hasta el cambio en el nivel salarial afecta los coeficientes de consumo de agua^{11/}.

Está claro que realizar análisis de este tipo cae por fuera del alcance del estudio en esta Fase; El solo análisis de influencia del cambio tecnológico en el consumo de agua implica una investigación de notables dimensiones.

Bajo estas circunstancias lo más factible en la investigación sobre consumo de agua en la industria es la determinación de coeficientes de consumo y de retorno; para ello la encuesta diseñada por Mejía Millán y Perry Ltda permite obtener información sobre producción física, volúmen de agua consumida, volúmen de descargas, y fuentes entre 1977 y 1981. Adicionalmente, para algunas industrias se cruzará información con lecturas de acueducto y registros de la encuesta industrial del DANE.

^{9/} De Rooy, op. cit. encontró en un estudio para New Jersey que incluso pequeños cambios en las tarifas producían reducciones de importancia en el consumo de agua.

^{10/} Según De Rooy, op.cit. las firmas mas grandes tienden a usar mas agua por unidad de valor agregado.

^{11/} Grebenstein, op. cit. sostiene que si aumenta el nivel de los salarios, habrá sustitución de trabajo por agua, vía aumentos en la intensidad de capital.

De esta forma se obtiene una relación de los coeficientes de consumo para un amplio grupo de industrias y productos. Después de algunos análisis comparativos de tendencias y coeficientes en otros países se pueden adoptar los coeficientes definitivos para los balances actuales. En la investigación para industrias individuales intensivas en el consumo de agua se debe tener en cuenta que este se encuentra influenciado por la fuente de suministro, siendo por ejemplo mayor el consumo cuando se dispone de bocatoma que cuando la industria está conectada a la red de acueducto urbano.

Para los balances actuales del ENA se utilizan los consumos reales reportados por las empresas en la encuesta y los consumos industriales facturados según las Empresas Municipales de Acueducto examinadas, mientras que para la proyección de balances se empleará como base los coeficientes de consumo y de retorno del agua industrial; particularmente para las industrias intensivas en el consumo de agua se realizará en la Fase II del estudio, una proyección de los coeficientes y tasas de retorno bajo diferentes escenarios de desarrollo industrial y minero.

3

BALANCES ACTUALES

Los balances actuales de demanda y oferta de agua se realizan para cada una de las subcuencas de tercer orden según la clasificación hidrológica del Himat. En la última parte de este documento se presentan la metodología para el cálculo de la demanda de agua para consumo humano y para usos industriales y los resultados en el Apéndice 2.

A AGUA PARA CONSUMO HUMANO

El abastecimiento de agua potable para las comunidades urbanas y rurales del país es uno de los objetivos esenciales de cualquier plan de desarrollo social, y su uso es prioritario en cualquier esquema de planificación del recurso. De esta manera se considerará en los balances regionales del ENA.

En los siguientes capítulos se entenderá como agua para uso humano no solamente el consumo relativo a las necesidades domésticas o residenciales, sino también el realizado en los usos comerciales, industriales o públicos cuyas demandas presentan similares niveles de exigencia en cuanto a calidad y garantía de suministro. Esta definición es particularmente aplicable a los consumos urbanos o municipales en el modelo final de balances regionales. Sin embargo en la segunda sección presentamos análisis desagregados de la demanda para varias ciudades aprovechando la información disponible.

En la primera sección se presenta un diagnóstico del estado actual de la dotación del servicio a nivel nacional, tanto para el sector urbano como para el área rural,

teniendo en cuenta algunos aspectos institucionales. La base de esta descripción son los Estados Sanitarios recopilados por la División Sanitaria de la Unidad de Infraestructura del DNP, principalmente el de 1981. Se exponen asimismo algunos análisis comparativos interregionales y su relación con las metas propuestas de cubrimiento.

En la segunda sección profundizamos en el análisis del consumo de agua en Bogotá y Medellín; aquí el objetivo último es la determinación de funciones de demanda para la estimación de nuevas proyecciones de consumo o para la revisión y análisis de las ya establecidas por estudios recientes.

Los resultados del estudio de consumos municipales de agua se presentan en la parte tercera. Aquí nos basamos en la estimación de los consumos per cápita según información recopilada en el DNP, Infopal y la encuesta aplicada por los consultores a 25 Empresas Municipales de Acueducto.^{1/} Se establecen las relaciones entre el consumo de agua y factores tales como la temperatura y el nivel de ingresos de la población.

^{1/} Ver Apéndice 1

A.I. LA DOTACION DE AGUA POTABLE EN COLOMBIA

1. ASPECTOS INSTITUCIONALES

El desarrollo de la dotación y distribución de agua corresponden al campo de saneamiento ambiental, que en Colombia está comprendido en la acción del Ministerio de Salud como ente rector y planificador y el Departamento Nacional de Planeación como entidad coordinadora. La ejecución de las políticas está bajo la responsabilidad de diversas entidades.

Como organismo descentralizado de orden nacional, el Instituto Nacional de Fomento Municipal, Insfopal, controla y financia las acciones individuales de las empresas de obras sanitarias o EMPOS Departamentales y Municipales, las cuales desarrollan el servicio en localidades mayores de 2.500 habitantes. En segundo lugar existen aproximadamente treinta y cinco Empresas Públicas Municipales en las principales ciudades del país. Estas desarrollan y administran el respectivo acueducto autonomamente, en su carácter de empresas industriales y comerciales del Estado. Hay además acueductos administrados directamente por el Municipio y otros organizados en sistemas comunales.

A nivel rural, la dotación del servicio a la población dispersa y a las localidades con menos de 2.500 habitantes, está a cargo del Instituto Nacional de Salud.^{1/}

^{1/} De acuerdo a la clasificación del Estado Sanitario se entiende como comunidad urbana los grupos superiores a 2.500 habitantes, como rural nucleada hasta 2.500 habitantes y como rural dispersa los grupos con menos de 50 habitantes.

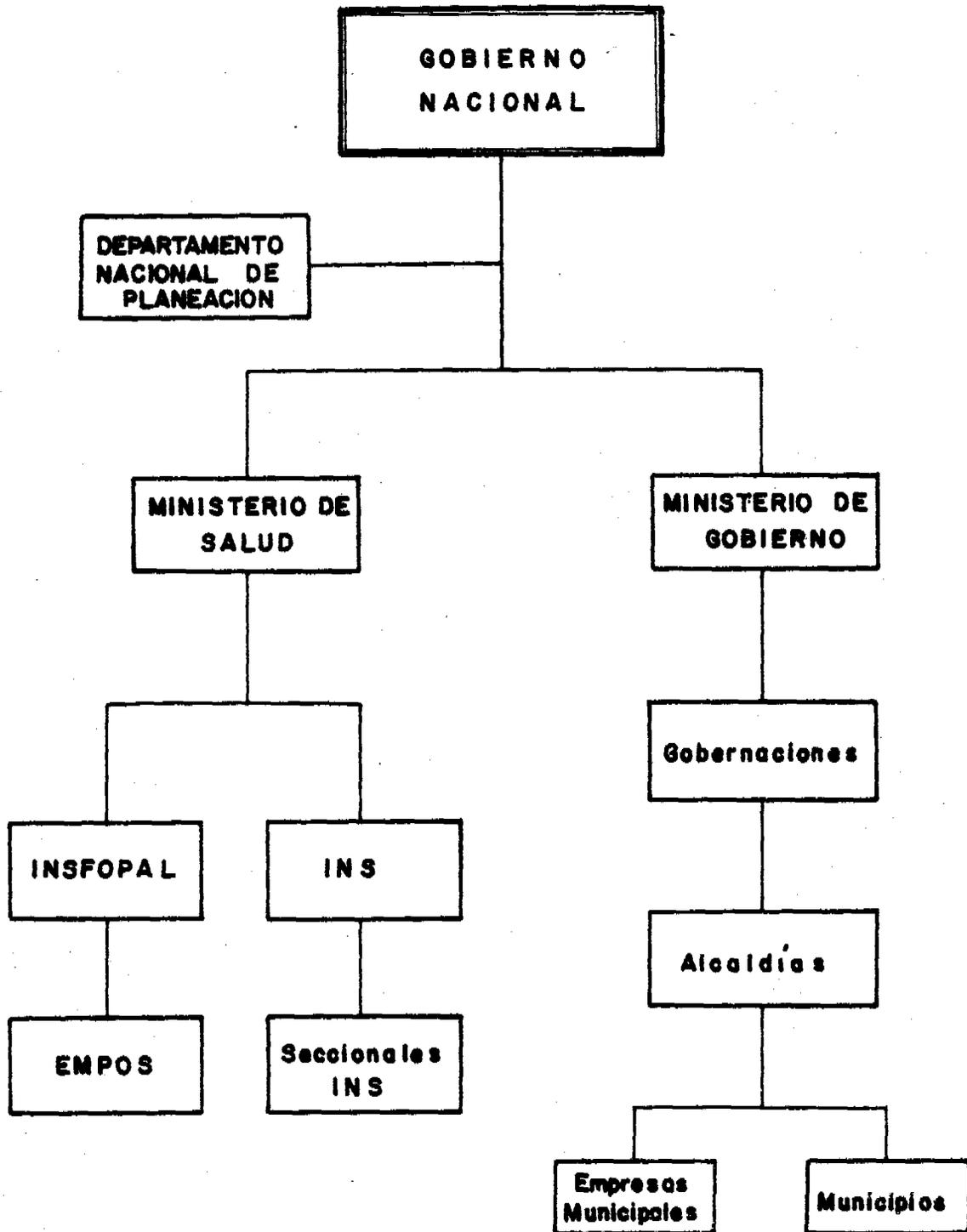
Existen además otras entidades que operan aislada o esporádicamente en este sector (Incora, Corporaciones Regionales de Desarrollo, Federación de Cafeteros y otras). El esquema general de las relaciones institucionales se presenta en el Gráfico. 1.

El Insfopal y las Empresas Públicas Municipales tienen bajo su responsabilidad la dotación del servicio a aproximadamente 16 millones de habitantes en los principales conjuntos urbanos del país, según se observa de la información contenida en el Estado Sanitario de 1981 y consignada en el Cuadro No. 1.

El promedio de cobertura, (definida como población con acceso al servicio de agua como porcentaje de la población total) en las cabeceras municipales bajo administración del Insfopal es sensiblemente inferior al promedio en las ciudades cuyo acueducto es manejado por las Empresas Públicas de Medellín, aunque la diferencia disminuye si consideramos poblaciones de mas de 60.000 habitantes (Cuadro No. 2). El comportamiento general de la cobertura por tamaño de ciudad, indica que ésta aumenta en relación directa pero se retrasa la eficacia del servicio y el cubrimiento cuando la ciudad sobrepasa en su tamaño los 100.000 habitantes (Cuadro No. 3) .

GRAFICO N° 1

ESTRUCTURA INSTITUCIONAL DEL SECTOR DE ACUEDUCTOS



CUADRO No. 1

D.1.15

POBLACION TOTAL SERVIDA Y COBERTURA DEL SERVICIO
DE ACUEDUCTO EN CABECERAS MUNICIPALES - 1.981 -

<u>Entidad</u> <u>Administradora</u>	(1) <u>Población</u> <u>Total</u>	<u>%</u>	(2) <u>Población</u> <u>Servida</u>	<u>Cobertura</u> <u>(2) / (1)</u> (%)
INSFOPAL	5.251.248	30.3	4.040.149	76.9
EPM	10.736.662	61.9	9.030.795	84.1
MUNICIPIOS	856.001	4.9	637.929	74.5
INS	240.915	1.4	184.957	76.8
OTROS	99.056	0.6	72.324	73.0
SIN INFORMACION	151.144	0.9	-	-
	<hr/>		<hr/>	<hr/>
	17.335.024		13.966.154	80.56

FUENTE: Estado Sanitario 1981.
DNP- UINF-DIS, Agosto 1982.

CUADRO No. 2COBERTURA POR ENTIDAD ADMINISTRADORA, 1981

(%)

<u>Tamaño</u> (miles habit)	<u>EPM</u>	<u>INSFOPAL</u>	<u>% acueductos administrados por Insfopal.</u>
30-40	81.9	67.7	73.7
40-60	95.4	67.7	90.0
60-100	92.3	88.4	55.5
100-y + <u>1/</u>	<u>80.3</u>	<u>80.9</u>	30.0
Promedio	84.1	76.9	

1/ Sin incluir a Bogotá, Cali, Medellín, Barranquilla.

FUENTE: Estado Sanitario 1981, Op. Cit.

2. EL ESTADO SANITARIO

a). SECTOR URBANO

Con el objeto de tener una visión completa de la situación del servicio de acueducto y alcantarillado en todo el país, el DNP recoge periódicamente la información disponible mediante una encuesta dirigida a casi todas las cabeceras municipales y presenta los resultados en los denominados "Estados Sanitarios". Al primer documento, el de 1969 le han seguido los de 1975, 1977 y 1981, este último el más completo. Además, la intención es la de actualizar esta publicación cada dos años.

En el cuadro 4 se observa como ha sido el desarrollo de la dotación del servicio de agua en el país entre el primero y el último de los estados sanitarios.

La mayor cobertura del servicio en el año 1969 sobre los dos años siguientes se debe sin duda al resultado de una muestra menor, pues es clara la tendencia a un aumento de cobertura con el tiempo.

Según el Estado Sanitario de 1981, las coberturas Departamentales son las presentadas en el Cuadro No. 5. Se observan mayores coberturas en los departamentos del interior sobre los de la Costa. En el Cuadro No. 6 vemos que la zona central, el suroccidente y el viejo Caldas tienen las mayores coberturas del país.

En cuanto a la capacidad de abastecimiento de los acueductos municipales, la información del Estado Sanitario 1981 se presenta en litros por segundo. El cálculo del número total de habitantes que corresponden a cada litro/seg de capacidad de abastecimiento permite determinar las ciudades que enfrentan restricciones en la capacidad del servicio de acueducto, definidas aquí como aquellas sobre la cifra de 350 habitantes por litro/seg de capacidad. Entre las 33 mayores del país, estas ciudades son Bucaramanga-Floridablanca, Bello, Tunja, Villavicencio, Cartagena, Tuluá, Buenaventura, Quibdó y Ríohacha. Esta información se presenta en el Cuadro No. 7.

Una determinación más precisa de las restricciones en el servicio se obtiene mediante el cálculo del número de suscriptores que corresponden a cada litro/seg de abastecimiento en los principales municipios como se presenta en el Cuadro No. 8. Las mayores restricciones potenciales están en Bucaramanga-Floridablanca, Tunja, Villavicencio, Santa Marta, Buenaventura, Bello, Cartagena y Tuluá, con mas de 40 suscriptores por litro/seg de abasto.

Aparte de la información ya consignada, el Estado Sanitario presenta para cada cabecera municipal, el número de viviendas, los suscriptores al acueducto y su cobertura, el tipo de fuente del acueducto y su capacidad y si estas son suficientes o nó, el tipo y la capacidad del tratamiento con el concepto sobre su suficiencia, el estado de los equipos de abastecimiento, tratamiento y redes, el número de medidores instalados y en servicio. De suprema utilidad es la inclusión en los próximos Estados Sanitarios,

CUADRO No. 4DESARROLLO RECIENTE DEL SERVICIO DE AGUA

	<u>Total de ca-</u> <u>beceras Mples</u> <u>encuestadas</u>	<u>Cabeceras Mples</u> <u>con información</u>	<u>Población</u> <u>servida</u>	<u>Cobertura</u> <u>del servi-</u> <u>cio.</u>
Estado sanitario 1969	915	661	9.217.706	76.5%
Estado Sanitario 1975	956	620	10.134.298	73.0%
Estado Sanitario 1977	936	809	11.675.337	74.4%
Estado Sanitario 1981	972	839	13.966.154	80.6%

FUENTE: DNP-UINF-DIS.

CUADRO No. 5COBERTURA POR DEPARTAMENTO, 1981

(%)

Quindío	92.6	Antioquia	75.8
Valle	89.0	Boyacá	73.8
Santander	87.7	Meta	73.3
Cesar	87.6	Nariño	72.7
Risaralda	86.6	Magdalena	72.0
Huila	86.4	Atlántico	69.0
Tolima	84.3	Caquetá	64.0
Cundinamarca	83.0	Sucre	61.5
PROMEDIO NACIONAL	80.6	Guajira	57.5
Caldas	80.2	Bolívar	55.8
Cauca	76.8	Putumayo	44.0
Norte Santander	76.6	Casanare	28.0

FUENTE: Estado Sanitario 1981, Cálculos de MMP.

CUADRO No. 6COBERTURAS REGIONALES 1.981 (%)

Central (Cundinamarca, Meta, Bogotá)	89.9
Caldense (Caldas, Quindío, Risaralda)	85.3
S. Occidente (Valle, Cauca, Nariño, Putumayo)	85.1
S. Central (Tolima, Huila, Caquetá)	83.1
C. Oriental (Boyacá, Santander, N. Santander, Casanare)	80.0
Occidental (Antioquia, Chocó)	75.0
Norte (Guajira, Cesar, Magdalena, Atlántico)	71.5
N. Occidental (Bolívar, Sucre, Córdoba)	62.9
	<hr/>
Promedio Nacional	80.56

FUENTE: Estado Sanitario 1981, Cálculos de MMP.

CUADRO No. 7CAPACIDAD DE ABASTECIMIENTO PER CAPITA, 1981

<u>Localidad</u>	<u>Población/Lxseg.Ab</u>	<u>Localidad</u>	<u>Población/Lxseg.Ab</u>
Barrancabermeja	77	Medellín	225
Pereira	90	Montería	231
Valledupar	97	Cartago	243
Ibagué	102	Itagüí	268
Armenia	106	Cúcuta	270
Palmira	114	Santa Marta	286
Florencia	125	Sincelejo	300
Cali	137	Ríohacha	356
Girardot	142	Quibdó	359
Bogotá	144	Buenaventura	402
Manizales	156	Tuluá	405
Pasto	163	Cartagena	440
Neiva	170	Villavicencio	443
Barranquilla	171	Tunja	490
Popayán	177	Bello	525
Buga	188	Bucaramanga -Fb	1.475
Sogamoso	201		

FUENTE: Estado Sanitario 1981 Cálculos de MMP.

CUADRO No. 8CAPACIDAD DE ABASTECIMIENTO POR SUSCRIPTOR, 1981

<u>Localidad</u>	<u>Suscriptor/Lxseg.Ab</u>	<u>Localidad</u>	<u>Suscriptor/Lxseg.Ab</u>
Barrancabermeja	9	Buga	27
Valledupar	11	Riohacha	27
Pereira	14	Medellín	28
Ibagué	14	Montería	31
Florencia	14	Sincelejo	31
Barranquilla	15	Cartago	33
Armenia	16	Quibdó	34
Palmira	17	Cúcuta	36
Bogotá	17	Sogamoso	36
Cali	17	Tuluá	43
Itagüé	17	Cartagena	45
Manizales	19	Bello	45
Pasto	22	Santa Marta	47
Girardot	23	Buenaventura	47
Neiva	24	Villavicencio	52
Popayán	25	Tunja	63
		Bucaramanga-Fb	189

FUENTE: Estado Sanitario 1981, Cálculos de MMP.

de información sobre producción y consumo, básicamente la producción de agua del respectivo acueducto, el agua tratada, facturada y las pérdidas, así como la discriminación del consumo por tipo de usuario ^{1/}.

b). SECTOR RURAL

Para determinar la situación de los servicios de acueducto y alcantarillado en el área rural, en 1978 el DNP elaboró un Estado Sanitario Rural mediante encuesta nacional que incluyó un total de 6.110 localidades nucleadas con más de 50 habitantes y un total de 2.553.000 habitantes (sin incluir Territorios Nacionales) y se hicieron estimaciones sobre los servicios en 1.400.000 viviendas, y 6.054.000 habitantes del área rural dispersa. En el Estado Sanitario de 1981, la información del INS actualizada por el DNP (sin incluir territorios nacionales) cubre 2.660.000 habitantes del área rural nucleada y 6.360.000 del área rural dispersa. Los resultados se presentan en el Cuadro No. 9.

Las coberturas del servicio de agua en la zona rural son notablemente inferiores a las del sector urbano, aunque se observa un progreso en el período considerado, particularmente en cuanto a la dotación del servicio para la población rural nucleada. La información disponible muestra que las coberturas del servicio de alcantarillado en el sector rural es aún menor, fenómeno que también se presenta en el área urbana. Finalmente hay que anotar que en 1981 más del 70% de habitantes rurales con servicio

^{1/} Este aspecto se discute en el Sistema de Información.

de agua, la consume sin ningún tratamiento.

3. METAS SECTORIALES

En el Cuadro No. 10 se comparan las coberturas actuales en acueducto y alcantarillado con los objetivos propuestos para el sector en el denominado "Decenio del agua 1980-1990". Según este esquema, en 1990 alrededor del 90% de la población urbana, 60% de la rural nucleada y 35% de la rural dispersa deben contar con abastecimiento seguro de agua potable.

Es notorio el esfuerzo a realizar en el período, particularmente en cuanto a la construcción de alcantarillados en todo el país y en la dotación del servicio de agua en las áreas rurales.

CUADRO No. 9

SERVICIO DE ACUEDUCTO EN EL SECTOR RURAL

		<u>Rural nucleada</u>	<u>Rural dispersa</u>	<u>Total</u>
Población	1977	2.553.000	6.054.000	8.607.000
	1981	2.660.000	6.360.000	9.020.000
Población Servida	1977	863.000	360.000	1.223.000
	1981	1.330.000	440.000	1.770.000
Cobertura del servicio	1977	33.9%	5.9%	14.3%
	1981	50.6%	7.0%	19.6%

FUENTE: Estado Sanitario DNP-1978 Area Rural.
 Información INS-Actualización DNP-1981
 No incluye territorios nacionales.

CUADRO No. 10DECENIO DEL AGUA - METAS FISICAS

<u>Area</u>	<u>Servicio</u>	<u>Coberturas al final del periodo</u>		
		1981	1986	1990
Urbana	Acueducto	80.6	85	90
	Alcantarillado	65.2	75	80
Rural Nucleada	Acueducto	50.6	50	60
	Alcantarillado	10.0	25	35
Rural Dispersa	Acueducto	7.0	25	35

FUENTE: E.S. 1981 y Minsalud 1980

A.II. EL CONSUMO DE AGUA EN LAS PRINCIPALES CIUDADES

Bogotá, Medellín, Cali y Barranquilla con aproximadamente 8'450.000 habitantes en 1982 representan el 48% de la población urbana y el 31% de la población total del país.^{1/} Este hecho justifica un análisis más detallado de los aspectos del consumo de agua en dichas ciudades, lo que se facilita por disponer ellas de la documentación más completa y de los mejores sistemas de información.

A continuación, para las cuatro ciudades mencionadas se estudiará el desarrollo reciente y la situación actual del consumo de agua, la discriminación de este por tipo de usuario y nivel socio-económico y se hará una descripción de las principales dificultades para el pleno abastecimiento. Adicionalmente se presentan las proyecciones de demanda existentes.

Este último aspecto es particularmente importante para las proyecciones de consumo urbano de agua que se realizarán en la Fase II del ENA.

1. BOGOTA

La ciudad cuenta con una población estimada en 4'030.000 habitantes en 1982 y una población servida por acueducto

^{1/} DNP-UDS-DP, Septiembre de 1982, "Dinámica Demográfica y proyecciones de Población del País, los Territorios Nacionales, el Distrito Especial de Bogotá, Departamentos y las 30 Principales Ciudades". A lo largo del presente estudio las cifras de población se referirán en lo posible a este documento.

de aproximadamente 31.750.000 lo que significa una cobertura del 93.0%.

Para satisfacer estas necesidades la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, EAAB, capta el agua que suministra a la ciudad de las siguientes fuentes: (en 1982)

Río Bogotá	87.8%
Río Tunjuelito	7.2%
Río San Cristóbal	2.5%
Río San Francisco	1.2%
Quebrada La Vieja	0.2%
Planta de El Sapo	1.1% <u>1/</u>

La captación total fue de 370.936.458 mts³ y la producción de las plantas de tratamiento se elevó a 356.278.740 mts³ (11.29 mts³/seg).

El tratamiento se realizó en tres plantas: la planta de Tibitó que se surte con el agua del Río Bogotá; la de Vitelma que se abastece de los ríos Tunjuelo y San Cristóbal y la Planta de San Diego que recibe las aguas del Río San Francisco. En estas plantas se efectúa tratamiento completo. La gran calidad de las aguas de la Quebrada La Vieja ubicada al nororiente de la ciudad permite que su distribución se haga solamente con la aplicación de algunos químicos.

1/ EAAB, Informe Estadístico 1982.

CUADRO No. 11

BOGOTA - SERVICIO DE ACUEDUCTO 1982

Población total	4'030.000
Población servida	3'750.000
Cobertura (%)	93.0
Capacidad de abastecimiento *	14.2 mts ³ /seg
Capacidad de tratamiento *	12.5 mts ³ /seg
Agua tratada (miles mts ³)	356.278.7
Agua facturada (miles mts ³)	235.231.3
Pérdidas (miles mts ³)	121.047.4
% Pérdidas	34.0
No. de Suscriptores	471.161
Agua tratada/Población servida	260.3 lts/h/d
Agua tratada/Suscriptor	756.2 mts ³ /año

* No incluye Chingaza. La primera etapa de la planta de tratamiento de El Sapo entró a operar en Noviembre de 1982.

FUENTE: EAAB

La Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá además vendió a los municipios de Chía y Cajicá 3'889.499 mts³ y a carrotanques 258.223 mts³. Por otra parte, las pérdidas, definidas como el agua tratada suministrada a la ciudad y no facturada fueron de 100.644.407 mts³ lo cual representa un 34%. Este nivel se considera alto considerando que en 1982 el 97.5% de los suscriptores tenían medidor en servicio.

CUADRO No. 12
CONSUMO POR TIPO DE USUARIO- 1982

Categoría	Consumo (miles m ³)	Participación %	No. de suscrip.	Consumo por suscriptor (m ³ / año)
Residencial*	178.702.5	76.0	439.164	406.9
Comercial	25.696.1	10.9	27.311	940.9
Industrial	17.174.3	7.3	3.037	5.655.0
Oficial y otros	13.658.4	5.8	1.649	8.282.8
Total	235.231.3	100.0	471.161	499.3

* Incluye la categoría "mixto"

FUENTE: EAAB, Informe Estadístico 1982.

CUADRO No. 13

BOGOTA - CONSUMO RESIDENCIAL POR NIVELES DE INGRESO

Estrato *	Consumo Facturado (miles m3)	Suscriptores	Consumo factur. por suscriptor (m3 /año).
1	11.425.1	26.605	429.4
2-3	93.100.4	233.227	399.2
4-5	54.147.7	134.492	402.6
6-7	17.649.9	40.208	439.0
8-9	2.379.4	4.632	513.7
TOTAL	178.702.5	439.164	406.9

* Según cuadro de tarifas

FUENTE: EAAB, Informe Estadístico 1982.

El servicio que presta la Empresa actualmente cubre las necesidades de la ciudad y de los municipios anexados de Suba, Soacha, Engativá y Fontibón y parcialmente a Chía y Cajicá.

CUADRO No. 14

 BOGOTA Año 2.000 - PROYECCIONES DE POBLACION

HIDROESTUDIOS- Río Bogotá, 1982		6'459.132
DPTO. NACIONAL DE PLANEACION, 1982		6'475.000
CCRP - ECONOMETRIA- EAAB, 1982:		
	{ Baja	6'862.187
	{ Alta	7'553.617
ESTUDIO DEL METRO DE BOGOTA, 1981:		
	{ Baja	7'380.000
	{ Alta	8'756.000

Sin embargo, para el año 2.000 el area metropolitana de la ciudad de Bogotá contará según los estudios más recientes con aproximadamente 7'000.000 de habitantes y el perímetro de servicio de la EAAB abarcará zonas de los actuales municipios de Usme, Funza, Mosquera, Madrid, Cota, Chía y Cajicá.

La demanda tope en el año 2000 calculada por el estudio de EAAB-Consorcio C.E.I. en el año 1977 se estimó entre 55.3 y 62.8 mts³/seg. Estas cifras se tomaron como base para el desarrollo del proyecto de Chingaza, cuya primera etapa ya entró en operación (En los meses de noviembre y diciembre de 1982, la nueva planta de tratamiento de El Sapo suministró 3.868.611 mts³ de agua).

El proyecto de Chingaza consiste básicamente en la transferencia de agua de los ríos Chuza, Playa y Frío que forman la hoya del río Guaitiquía, hacia la cuenca del río Bogotá. Esta agua es regulada en el embalse de Chuza el cual tiene una capacidad de 220 millones de mts³. La conducción se realiza por túneles en cuyo trayecto se capta una fuente adicional del río Blanco con el cual se completan los 14 mts³/seg de capacidad de abastecimiento en la primera etapa. Aproximadamente la mitad de este caudal se conduce a la nueva planta de tratamiento de El Sapo y el resto se desvía al río Teusacá para ser aprovechado en la generación de energía eléctrica y para tratamiento en Tibitó.

Junto con las fuentes actuales, la capacidad de abastecimiento se elevaría a 26.5 mts³/seg lo cual parece suficiente

al año 2000 dadas las mas recientes proyecciones de población; es así como el estudio Acueducto-CCRP de 1982 ^{1/} estima el consumo de agua en el año 2000 para la ciudad de Bogotá entre 15.9 y 22.6 mts³/seg. Estas cifras notablemente inferiores a las originales del consorcio CEI recogen el brusco descenso en los patrones de fecundidad experimentados en todo el país desde la década del 70 que se traducen en la reducción de las cifras proyectadas de población.

Bajo estas circunstancias la segunda etapa del proyecto Chingaza, 8.5 mts³/seg adicionales de abastecimiento, inicialmente programada para la década del 90 podría posponerse mas allá del año 2000.

2. MEDELLIN

La ciudad de Medellín y los municipios vecinos de Itaguf, Bello y Envigado están servidos por las Empresas Públicas de Medellín. La población de este conjunto urbano se estima para 1982 en 2.000.000 de habitantes aproximadamente.

La Empresa dispone de cuatro sistemas de producción y tratamiento de agua. El sistema La Fe-La Ayurá se abastece de los ríos Buey, Piedras y Pantanillo y de las quebradas

^{1/} Corporación Centro Regional de Población, Proyecto Acueducto-CCRP, Bogotá, Julio 1982.

Las Palmas y Chorrillos que en conjunto poseen un caudal medio aprovechable de $6.2 \text{ mts}^3/\text{seg}$ en la estación seca y $7.0 \text{ mts}^3/\text{seg}$ en la húmeda; cuenta con equipos de bombeo en los ríos Piedras y Pantanillo, un embalse con capacidad útil de 12 millones de mts^3 en la Fe y la Planta de tratamiento de La Ayurá con capacidad de $5.2 \text{ mts}^3/\text{seg}$ (68.4% de la capacidad total de la Empresa).

El sistema Piedras Blancas- Villa Hermosa toma las aguas de las quebradas Santa Elena, La Mosca, La Honda y Piedras Blancas con caudal medio aprovechable de $1.0 \text{ mts}^3/\text{seg}$ en la estación seca y $1.6 \text{ mts}^3/\text{seg}$ en la húmeda; tiene equipos de bombeo en La Mosca y La Honda, un embalse de 1.2 millones de mts^3 en Piedras Blancas y la planta de tratamiento de Villa Hermosa de $1.7 \text{ mts}^3/\text{seg}$ de capacidad. (22.4% del total).

El tercer sistema recoge las aguas de la quebrada La García con caudal medio de $0.2 \text{ mts}^3/\text{seg}$ en la estación seca y $0.5 \text{ mts}^3/\text{seg}$ en la húmeda y un embalse de 1.6 millones de mts^3 y la planta de Pedregal con $0.5 \text{ mts}^3/\text{seg}$ de capacidad (6.1% del total).

El cuarto sistema toma las aguas de las quebradas La Igua-
ná, La Puerta y Tenche con caudal medio de $0.1 \text{ mts}^3/\text{seg}$ en la estación seca y $0.2 \text{ mts}^3/\text{seg}$ en la húmeda y tratamiento en la planta de San Cristóbal de $0.2 \text{ mts}^3/\text{seg}$ de capacidad (3.1% del total).

CUADRO No. 15

MEDELLIN - SERVICIO DE ACUEDUCTO - 1981

Población total *	1'870.750
Población servida	1'642.518
Cobertura (%)	87.8
Capacidad de abastecimiento	7.6 mts ³ /seg
Capacidad de tratamiento	7.6 mts ³ /seg
Agua tratada (miles mts ³)	215.705.9
Agua facturada (miles mts ³)	125.446.1
Pérdidas (miles mts ³)	90.259.8
% pérdidas	41.8
No. de suscriptores	215.473
Agua tratada/Población servida	359.8 lts/h/d
Agua tratada/Suscriptor	1001.1 mts ³ /año

* Incluye Envigado, Itagüf y Bello

FUENTE: EPM.

Debido a la diversidad de fuentes y de plantas de tratamiento localizadas al oriente y occidente de la ciudad y a la particular topografía del área urbana con zonas localizadas entre las cotas 1450 y 1850 la Empresa ha construido hasta el momento 33 tanques de distribución con 243.000 mts³ de capacidad.

Además, la ubicación de núcleos urbanos por encima de la cota de servicios requiere bombeo por parte de la empresa. Sin embargo, desde 1977 la capacidad de abastecimiento del acueducto se ha revelado insuficiente por lo cual se observa periódico racionamiento en la mayor parte de los circuitos de la ciudad. En conjunto este racionamiento se estimó en 1982 en un nivel del 8% de las horas anuales.

La segunda dificultad particular se refiere al nivel de pérdidas, creciente en los últimos años y estimado para 1981 en 41.8%. EPM se ha empeñado en programas de reducción de pérdidas el cual incluyó la identificación de éstas en un circuito (Miraflores). Los resultados fueron:

Fugas en redes principales, secundarias y domiciliarias	17%
Imprecisión en medidas y deficiencia en medidores	16%
Conexiones fraudulentas	6%
Consumo en plantas y rebose de tanques	2%
Hidrantes y lavado de calles	1%
Total de pérdidas en el circuito	42%

Sin embargo, aunque se trataron las deficiencias en los tres items principales el nivel de pérdidas no disminuyó apreciablemente, probablemente por las altas presiones con las cuales opera todo el sistema de la ciudad.

CUADRO No. 16

MEDELLIN - CONSUMO POR TIPO DE USUARIO-1981

Categoría	Consumo (miles m3)	Participación %	No. de Suscrip.	Consumo por suscriptor (mts3 / año)
Residencial	86.102.7	68.7	199.714	431.1
Comercial	14.703.3	11.7	13.702	1.073.1
Industrial	12.954.6	10.3	1.025	12.638.6
Oficial y otros	11.685.5	9.3	1.032	11.323.2
Total	125.446.1	100.0	215.473	582.2

FUENTE: Empresa Públicas de Medellín

CUADRO No. 17

MEDELLIN - CONSUMO RESIDENCIAL POR NIVELES DE INGRESO

Estrato *	Consumo facturado (miles m3)	Suscriptores	Consumo facturado por suscriptor (miles m3/año)
1-2	31.494.3	83.481	377.3
3	18.314.7	44.136	415.0
4	13.303.9	29.906	444.9
5	10.941.6	22.766	480.6
6	5.396.2	10.584	509.8
7-8	6.652.0	8.841	752.4
	86.102.7	199.714	431.1

* Según cuadro de tarifas

FUENTE: BID, Estudio del Sistema de Acueducto y Alcantarillado de Medellín, Colombia, Carlos Vélez, 1981.

Estas deficiencias del sistema, racionamiento y pérdidas son particularmente graves en el caso de Medellín puesto que el crecimiento urbano de la ciudad a lo largo del Valle de Aburrá está involucrando paulatinamente otros municipios. Las EPM ya suministran parcialmente el servicio de acueducto en Bello, Itagüí y Envigado; en corto plazo la cobertura del servicio se extenderá a Sabaneta, Copacabana y La Estrella y antes del año 2000, Girardota y Barbosa. La población del Medellín Metropolitano en el año 2000 es estimado por el DNP en aproximadamente 3.300.000 habitantes.

En consecuencia EPM debe realizar notables esfuerzos en el incremento de la capacidad de abastecimiento y en la reducción de pérdidas.

Actualmente se encuentra en ejecución el programa del Río Buey; básicamente consiste en la captación de un caudal de $2 \text{ mts}^3/\text{seg}$, conducción por túnel al Río Piedras y bombeo a la cuenca del Pantanillo para alimentar el embalse de La Fe, actualmente la principal fuente del sistema de acueducto de Medellín. La combinación de los ríos Piedras, Buey, Pantanillo y la quebrada Las Palmas suministrará un caudal regulado de $8.0 \text{ mts}^3/\text{seg}$ con un máximo diario de $9.6 \text{ mts}^3/\text{seg}$, por lo cual la capacidad de la planta de tratamiento de La Ayurá es ampliada actualmente en $4.4 \text{ mts}^3/\text{seg}$. Este proyecto se complementa con el aprovechamiento del caudal para la generación de energía en la Central Ayurá de 19.1MW.

El proyecto entrará en completa operación en 1984 y podría satisfacer la demanda total del sistema hasta 1988, año a partir del cual se prevé la entrada de la primera etapa del proyecto Río Grande.

Este proyecto consiste en el aprovechamiento múltiple (acueducto-energía) de las cuencas de los Ríos Grande y Chico. Aunque el proyecto se encuentra en la etapa de factibilidad se tienen identificados caudales aprovechables para el acueducto de un mínimo de $9.25 \text{ mts}^3/\text{seg}$ hasta $16 \text{ mts}^3/\text{seg}$. La nueva planta de tratamiento estaría localizada en vecindades del Club Croacia. Con estas capacidades adicionales se atendería totalmente la demanda del Medellín Metropolitano hasta mas allá del año 2000 e inclusive induciría la sustitución parcial de la capacidad de abastecimiento de la planta de La Ayurá.

En cuanto a los caudales futuros de demanda, estos dependerán entre otras variables como población e ingreso, del nivel de pérdidas del sistema. Un estudio reciente de demanda el cual involucra probabilísticamente las variables inciertas población y pérdidas, y considera incrementos en el consumo por aumento general del ingreso estima la demanda mas probable por agua en el Valle de Aburrá en el año 2.000 entre 13 y $17 \text{ mts}^3/\text{seg}$. ^{1/}

^{1/} Mejía, Millán y Perry Ltda, Evaluación Económica del Aprovechamiento Múltiple del Río Grande, Marzo 1983.

3. CALI

En 1982 la población de la ciudad de Cali se estima en 1'270.000 habitantes (sin Yumbo). El servicio de acueducto es prestado por las Empresas Municipales de Cali, EMCALI, la cual dispone de dos fuentes de abastecimiento: el río Cali y el río Cauca los que alimentan respectivamente las denominadas red alta y red baja.

Las aguas del río Cali se tratan en la planta de San Antonio con una capacidad de producción media anual de 1.4 mts³/seg. El área servida es de aproximadamente 1.500 hectáreas, la mayor parte de las cuales corresponden al casco viejo de la ciudad. A pesar de la saturación de espacio la demanda es creciente debido a la edificación en altura. En épocas de fuerte verano el caudal del río descende hasta valores de 0.8 mts³/seg lo cual obliga a efectuar racionamientos a pesar de que las redes alta y baja están interconectadas.

Las aguas del Cauca se tratan en la planta Cauca de 2.5 mts³/seg de capacidad y en la Planta de Puerto Mallarino de 3.2 mts³/seg. Estas plantas alimentan la red baja con una extensión aproximada de 5.500 hectáreas. Las posibilidades de desarrollo futuro se encuentran en estas zonas.

En conjunto, la capacidad de abastecimiento de EMCALI es de 7.1 mts³/seg de agua tratada (tratamiento completo).

CUADRO No. 18

CALI - SERVICIO DE ACUEDUCTO 1.982

Población total	1'270.000
Población servida	1'200.000
Cobertura (%)	94.5
Capacidad de abastecimiento	7.7 mts ³ /seg
Capacidad de tratamiento	7.1 mts ³ /seg
Agua tratada (miles mts ³)	161.622.0
Agua facturada (miles mts ³)	101.985.0
Pérdidas (miles mts ³)	59.637.0
% Pérdidas	36.9
No. de suscriptores	176.527
Agua tratada/población servida	915.6 mts ³ /año

FUENTE: EMCALI

Respecto al sistema de distribución, la empresa dispone de tres tanques adicionales de abastecimiento, Normal Siloe y la Campiña y opera con bombeo a barrios elevados de la ciudad en las zonas de Terrón Colorado, Bellavista, Siloé, Menga y Nápoles.

Por otra parte la mayoría de la población por fuera de servicio se localiza en los nuevos asentamientos de invasión de rápido desarrollo desde 1975 particularmente en la zona oriental aledaña al río Cauca. (Distrito de Aguablanca).

CUADRO No. 19

CALI - CONSUMO POR TIPO DE USUARIO-1982

Categoría	Consumo (miles m ³)	Participación.	Número de suscriptores	Consumo por suscriptor (mts3/año)
Residencial*	72.054.0	70.6	161.211	446.9
Comercial	13.522.5	13.3	13.528	999.6
Industrial	6.543.0	6.4	641	10.207.5
Oficial y otros	9.865.5	9.7	1.137	8.676.8
TOTAL	101.985.0	100.0	176.517	577.8

FUENTE: EMCALI, Gerencia de Planeación y Desarrollo

* Incluye 256 suscriptores y 100.000 mts3 de consumo en pilas públicas.

CUADRO No. 20

CALI- CONSUMO RESIDENCIAL POR NIVELES DE INGRESO

Estrato	Consumo Facturado (miles mts3)	Suscriptores	Consumo facturado por suscriptor (m3/año)
Bajo-bajo	3.969.7	12.314	327.2
Bajo	26.628.5	64.030	415.9
Medio-bajo	19.419.0	43.776	443.6
Medio	4.149.7	9.473	438.1
Medio Alto	12.750.5	24.205	526.8
Alto	5.136.6	7.593	676.5
	72.054.0	161'211	446.9

FUENTE: EMCALI, Gerencia de Planeación y Desarrollo en base a modelos de simulación, 1982.

Para satisfacer estas demandas y las derivadas de los desarrollos futuros de la zona urbana en las áreas de Nápoles y Pance al sur de la ciudad, EMCALI ha definido un plan de desarrollo de mediano plazo.

En primer lugar es prioritario el aumento en la capacidad de producción de agua en la red alta ya que se estima que desde 1983 la demanda media en este sector alcanzará el valor crítico de $1.4 \text{ mts}^3/\text{seg}$. Actualmente se adelanta la construcción de la planta La Reforma que operará con caudales de los ríos Pichindé, Meléndez y Cañaveralejo con una producción media esperada de $0.8 \text{ mts}^3/\text{seg}$ la cual entrará en operación en 1984.

En segundo lugar, recién han comenzado los estudios de factibilidad para la ampliación de la capacidad de la red baja; las alternativas posibles son la ampliación en una segunda etapa de la planta de Puerto Mallarino con abastecimiento del río Cauca o el nuevo acueducto del sur el cual puede disponer de caudales de los ríos Timba, Jamundí, Jordan y Pance. En cualquier caso la capacidad prevista es de aproximadamente $4 \text{ mts}^3/\text{seg}$ y debe entrar en operación en 1987. Este programa se complementaría con la instalación de tanques adicionales en las redes alta y baja y nuevas estaciones de bombeo en barrios altos de desarrollo inmediato en el Norte, Siloe-Lleras, Terrón Colorado, Pance y Nápoles.

De esta forma la capacidad total del sistema sería de $11.9 \text{ mts}^3/\text{seg}$. Considerando las demandas del vecino municipio

de Yumbo (0.6 mts³/seg incluyendo el consumo industrial) el cual será involucrado en el área de servicio del sistema a partir de 1985, la demanda total de la ciudad de Cali según el máximo diario se estima en 9.5 mts³/seg en 1990 y en 13 mts³/seg en el año 2000 para una población en este año de aproximadamente 1.910.000 habitantes.

Se observa la urgente necesidad de estudiar ampliaciones adicionales en la capacidad de abastecimiento y tratamiento del sistema para operación en la década del 90. Sin embargo, EMCALI ha definido además como prioritaria la reforestación de las cuencas hidrográficas de los ríos que abastecen la red alta y el posible Acueducto del Sur con la intención de mantener e inclusive incrementar los caudales de suministro.

4. BARRANQUILLA

La población estimada para Barranquilla en 1982 es de aproximadamente 1'040.000 habitantes ^{1/}. La Empresa Pública Municipal de Barranquilla, EPM, toma del río Magdalena el agua que trata y suministra a la ciudad mediante tres bocatomas sumergidas y un pozo de succión profundo de reciente construcción; estas tuberías arrastran gran cantidad de arena y sedimentos ocasionando serios problemas en la operación de las plantas de tratamiento. A estas plantas, el agua cruda es impulsada mediante 7 bombas, cinco de ellas en mal estado de funcionamiento general y con dificultades adicionales para el bombeo en las épocas de bajos niveles del río.

^{1/} Incluido Soledad

El tratamiento se realiza en tres plantas con una capacidad total de $4.2 \text{ mts}^3/\text{seg}$; sin embargo algunos elementos indispensables se encuentran fuera de servicio por lo cual la capacidad de tratar agua en estas plantas era a fines de 1982 de $3.8 \text{ mts}^3/\text{seg}$, siendo esta de regular calidad.

El agua producida en las plantas se bombea hacia 11 tanques de almacenamiento en la ciudad mediante 10 bombas con una capacidad total de $4.4 \text{ mts}^3/\text{seg}$. La distribución se hace en cuatro zonas determinadas por la topografía de la ciudad con un sistema mixto de bombeo y gravedad que adolece de fallas de diseño en tuberías y estaciones de rebombeo, lo cual ocasiona grandes diferencias de presión^{1/}

Bajo estas circunstancias se considera que la población que se encuentra por fuera del servicio de acueducto es un 30% del total y un 30% adicional se halla bajo periódico racionamiento.

^{1/}

Para una adecuada descripción del sistema de acueducto de Barranquilla ver el estudio de Glace and Glace "Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado para la ciudad de Barranquilla". Fase A, Julio 1981.

CUADRO No. 21

BARRANQUILLA- SERVICIO DE ACUEDUCTO 1982

Población total	1'040.000
Población servida	728.000
Cobertura (%)	70.0
Capacidad de abastecimiento	4.2 mts ³ /seg
Capacidad de tratamiento	3.8 mts ³ /seg
Agua tratada (miles mts ³)	119.838.8
Agua facturada (miles mts ³)	75.357.6
Pérdidas (miles mts ³)	42.199.6
% Pérdidas	37.1
No. de suscriptores	84.489.
Agua tratada (población servida)	451.0 lts/hd
Agua tratada/suscriptor	1.418 mts ³ /año

FUENTE: Encuesta MMP-EPM

En cuanto al nivel de pérdidas, este es probablemente superior al señalado por EPM dado que solo un 44% de los suscriptores tenían a la fecha el medidor en servicio; además se estima bastante alto el número de conexiones ilegales, particularmente en la zona sur de la ciudad.

CUADRO No. 22

BARRANQUILLA - CONSUMO POR TIPO DE USUARIO-1982

Categoría	Consumo (miles m3)	Participación (%)	No. de suscriptores	Consumo por suscriptor. (mts3 /año)
Residencial	52.831.5	70.1	79.156	667
Comercial	10.263.9	13.6	4.238	2.422
Industrial	8.693.0	11.5	653	13.312
Oficial y otras	3.569.2	4.8	442	8.075
TOTAL	75.357.6		84.489	892

FUENTE: Encuesta MMP-EPM

El resultado de las múltiples deficiencias del sistema se ha traducido en un alto consumo de agua. En el Cuadro 21 se observa que el consumo total de agua por habitante fue de 451 lhd el cual se considera excesivo. Las EMP tienen como objetivo para el año 2000 un abastecimiento de agua con servicio continuo y buena presión para el 95% de la población con un promedio de consumo de 350 lhd incluidas las pérdidas.

CUADRO No. 23

BARRANQUILLA - CONSUMO RESIDENCIAL POR NIVEL DE INGRESO-
1982.

Estrato*	Consumo facturado (miles mts ³)	suscriptores	consumo por suscriptor (mts ³ / año)
R1. Bajo-Bajo	545.8	1099	496.6
R2. Bajo	5.585.8	9991	559.1
R3. Medio bajo	10.029.9	17096	586.7
R4. Medio	23.024.08	35634	646.1
R5. Medio-alto	10.505.7	12578	835.2
R6. R.7. Alto	3.139.8	2758	1.138.4

*Por avalúos-hoja de tarifas

FUENTE: EPM.

En abril de 1983 entró en servicio la unidad No. 4 de tratamiento con una capacidad de 1 mts³/seg lo cual elevó a 4.8 mts³/seg la capacidad de tratamiento total. Se tiene prevista una quinta unidad de 2.25 mts³/seg para operar en 1985 y una sexta planta en la década del 90 que cubra las necesidades de la ciudad hasta el año 2000. Estas obras forman parte del Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado que incluye la instalación de tanques de almacenamiento y las redes complementarias y la gradual conexión de medidores en todas las categorías de consumo ^{1/}

^{1/} Op. Cit

En resumen, el Plan Maestro pretende satisfacer un consumo total de 9.18 mts³/seg (7.48 mts³/seg residencial, 1.70 mts³/seg industrial, comercial y otros) en el año 2000 para una población total del área metropolitana comprendida por Barranquilla, Soledad, Malambó y Puerto Colombia estimada por Glace & Glace en 1'944.000 habitantes.

A.III. ANALISIS DE LA DEMANDA RESIDENCIAL URBANA POR AGUA

En esta sección se presentan resultados de algunos de los estudios internacionales sobre la demanda por agua a nivel residencial urbano y se comparan con los obtenidos en el presente estudio para las ciudades de Bogotá y Medellín.

En general se pueden hacer proyecciones basadas en tres métodos: proyecciones matemáticas derivadas de correlaciones con otras variables (modelos de crecimiento interno), proyecciones matemáticas según datos históricos (extrapolaciones) y proyecciones independientes. Hacemos énfasis en el primer método, lo cual puede envolver numerosas variables, aunque en materia de proyecciones de consumo de agua, una combinación de éstos debe ser mas factible ^{1/}. Por ejemplo, un análisis conjunto de series de tiempo y modelos de sección transversal se utilizaron para estimar la demanda residencial por agua en Malmö.^{2/} Aquí se estudiaron 14

^{1/} J.J.Boland; Ch.W. Mallory: Comments on "Residential Water Demand Forecasting" by P.W. Whifford; W.R.R., June 1973

^{2/} S.H. Hanke; L. de Mare; Residential Water Demand: A pooled, time series, cross section study of Malmö; Sweden; W.R.R. August, 1982

series de tiempo y datos individuales de 69 hogares para obtener las siguientes elasticidades (lineales):

ingreso del hogar	+ 0.11
precio real del agua	- 0.15
número de adultos por hogar	+ 0.13
número de niños por hogar	+ 0.05
lluvia en el período	- 0.21

$$R^2 = 0.259$$

Los autores se declaran satisfechos con el valor R^2 en vista del tipo de estudio (pooled analysis) y con los resultados.

También usando datos de sección transversal y series de tiempo se estimó la demanda residencial por agua como función de la temperatura, lluvia, valor de la vivienda, precio del agua y personas por hogar según 261 viviendas en Raleigh, Carolina del Norte ^{1/}. Se obtuvieron las siguientes elasticidades (logarítmicas):

precio real del agua	- 0.27
personas por hogar	+ 0.74
lluvia en el período	- 0.018
temperatura promedio	+ 0.316
valor de la vivienda (prox.del ingreso)	+ 0.334

^{1/} L.E. Danielson; An Analysis of Residential Demand for Water Using Micro-Times Series Data; W.R.R. August, 1979.

También se analiza la demanda en invierno y en verano, encontrándose que la demanda para riego de jardines y lavado de autos es bastante sensible al precio y a las variables climáticas.

Para mostrar como la medida apropiada del precio del agua es el precio marginal y no el promedio K.G. Gibbs ^{1/} desarrolló dos modelos con datos de 355 hogares en Miami, Florida, sobre consumo, ingreso, personas por hogar, porcentaje de hogares con calentador de agua y variables dummy climáticas. En el primer modelo se utilizan los precios marginales obteniendo -0.51 de elasticidad precios, +0.51 de elasticidad ingreso y $R^2=0.6$. En el segundo utilizando los precios promedios, elasticidades precio - 0.62 e ingreso de 0.8 , $R^2 = 0.46$. Se concluye que en el modelo de precios promedios se sobreestima significativamente la respuesta del consumidor a los cambios en precio e ingreso.

En resumen, existen numerosos estudios sobre como los individuos y los hogares ajustan su consumo de agua en respuesta a cambio en precios, ingresos, clima y otros factores. En el Cuadro 24 se presenta una selección de los resultados en precios e ingresos según especificación de datos y formas funcionales en varias de estas investigaciones sobre consumo residencial urbano de agua en Estados Unidos especialmente ^{2/}. Los resultados claro

^{1/} K.C. Gibbs; Price Variable in Residential Water Demand Models, W.R.R., February 1978

^{2/} Ver L.E. Danielson, op. cit.

CUADRO No. 24

ELASTICIDADES PRECIO E INGRESO EN VARIOS ESTUDIOS

Investigador	Especificación de la informac.	Elasticidad precio		Elastic. Ingreso	
		Ecuación lineal	Ecuación logarítmica	Ecuación lineal	Ecuación logarítmica
Headley (1963)	Serie de tiempo			0.4	
Young (1973)	Serie de tiempo	-0.41	-0.41		
G. y Shick	Sección Transv.		-0.77		
Bain (1966)	Seccion Transv.		-1.099		
H y Linaweaver (1967)	Sección transv.		-0.40		0.47
N. y Wore (1968)	Sección transv.	-0.67	-0.61	0.83	0.36
Grima (1973)	Seccion Transv.		-0.93		0.56
H. y Primeaux (1973)	Sección transv.	-0.26		0.54	
Gardner (1977)	Sección transv.	-0.24	-0.15	0.37	
Gibbs (1978)	Seccion transv. \bar{P}	-0.62		0.80	
Gibbs (1978)	Sección transv. Pmg.	-0.51		0.51	
Attanasi (1975)	Combinación	-0.81		0.15	
Danielson (1979)	Combinación		-0.27		0.334
H y de Mare(1982)	Combinación	-0.15		0.11	

está difieren según la comunidad estudiada, la información y la especificación de los modelos de demanda aunque sirve para establecer un orden de magnitud.

1. LOS RESULTADOS EN BOGOTA Y MEDELLIN

La investigación ideal sobre consumo individual de agua debería comprender una recolección de información sobre una amplia muestra de hogares individuales durante un período de tiempo lo suficientemente largo, de modo que los cambios en los patrones de consumo puedan ser estudiados tanto entre sí como a lo largo del tiempo. Por otra parte, la disponibilidad y calidad de la información no es muy buena en Colombia para este tipo de estudios y por otra, parece no haber existido interés especial en su desarrollo. Las empresas de servicios en el país someten sus tarifas a la aprobación de la Junta Nacional de Tarifas^{1/} de forma tal que estas le garantizan a las empresas los ingresos suficientes para cubrir los costos reales del servicio mas una rentabilidad razonable sobre los activos. Además un incremento mensual con el fin de contrarrestar la inflación prevista. La existencia de tarifas diferenciales entre consumidores y por volumen busca la racionalidad en el uso y la contribución a la redistribución del ingreso. Esto último bajo la certeza de que los consumos más altos se presentan en los estratos socioeconómicos mas elevados, lo cual se confirma con la información contenida en los cuadros 13,17,20 y 23 en la descripción de las cuatro ciudades.

Recientemente se han hecho esfuerzos en el desarrollo y

^{1/} Ver capítulo de Aspectos Institucionales

aplicación de la teoría de fijación de precios mediante costos marginales con referencia especial al caso de las empresas de servicios públicos ^{1/}. En general los estudios de factibilidad financiera de grandes proyectos de inversión en servicios públicos desarrollan la estructura marginalista bajo el objetivo de asignar eficientemente los recursos de la sociedad en la intención de maximizar el bienestar de la comunidad que sirve. La estructura de precios resultante debe ser tal que éstos igualen los costos marginales de suministro.

Sin embargo respecto al análisis de elasticidades precio, ingreso y otras variables que inciden en el patrón de consumo de agua los desarrollos han sido mínimos. El nivel de agregación de la información parece ser la limitación más importante; en particular la representación de la estructura de precios es inadecuada como "bloque" creciente en función del consumo, del avalúo catastral y del tiempo. Algunos resultados fueron obtenidos en el estudio de la EAAB y la CCRP ^{2/} advirtiéndolos mismos que estos problemas de la información conllevan a obtener resultados muy generalizados en cuanto a la respuesta de la demanda a cambios en los precios.

-
- ^{1/} Carlos E. Vélez, Estudio del sistema de Acueducto y Alcantarillado de Medellín, Colombia, Seminario BID, Washington, 1981
- Carlos E. Vélez, Producción, costo y precios del agua potable en Medellín, EPM, 1982
- ^{2/} Corporación Centro Regional de Población, Proyecto Acueducto-CCRP, Informe Final, Bogotá, 1982.

Se formularon dos modelos de corto y largo plazo; en el primero se encontró para los consumidores residenciales una elasticidad precio de -0.227 y -1.22 para el tamaño del hogar ($r^2 = 0.7$; log). En el segundo las elasticidades precio e ingreso fueron -0.12 y -0.06 respectivamente ($r^2 = 0.7$; log).

En vista de los anteriores resultados se optó por la elaboración de nuevos modelos de consumo de agua residencial en Bogotá y Medellín. Para el caso de Bogotá y dada la información disponible por consumo se formuló el siguiente modelo en sección transversal

$$C = a Y^{\alpha} H^{\beta} PV^{\gamma}$$

donde:

- C: Consumo residencial y mixto en lhd en 1980 por comuna, facturado
- Y: Ingreso real per cápita por comuna en pesos 1978
- H: Porcentaje de hogares con tubería de agua por comuna
- PV: Personas por vivienda en 1980 por comuna

La información base se consigna en el cuadro No.25 Se eliminaron las comunas 31 y 81 del centro de la ciudad por dificultades en discriminar el consumo residencial del comercial.

Una vez realizadas las estimaciones del modelo se observó que solamente el ingreso per cápita se presenta como

CUADRO No. 25

ACUEDUCTO- BOGOTA

	(1)	(2)	(3)	(4)
Comunas	Consumo Residenc. y mixto lhd 1980	Ingreso Real per cápita x comuna \$ 1978	% de hogares con tubería de agua	Personas por vivienda 1980
11	78.35	1.199	100.00	8.91
12	197.21	2.366	100.00	6.96
13	38.70	719	78.84	8.85
14	130.09	7.083	100.00	7.64
21	79.38	2.587	100.00	7.81
22	147.17	1.389	100.00	7.36
23	79.29	1.880	100.00	6.93
24	195.08	1.677	98.66	7.21
25	70.22	1.059	92.64	9.38
32	104.15	1.014	91.81	6.12
41	73.70	2.433	100.00	7.42
42	95.91	2.081	93.51	7.82
43	60.93	1.900	100.00	7.48
44	116.28	1.861	100.00	7.71
45	116.56	1.695	89.21	8.49
51	358.91	4.089	100.00	6.98
52	93.03	1.172	100.00	7.64
53	111.38	1.628	100.00	8.40
54	218.00	2.818	98.34	7.82
55	88.42	1.578	99.35	8.01
56	100.43	1.746	99.68	8.40
61	125.56	2.518	100.00	6.92
62	82.82	3.330	100.00	6.45
63	95.90	3.154	100.00	6.02
64	85.37	1.460	100.00	8.81
65	307.34	2.026	100.00	8.08
71	238.30	5.675	100.00	4.99
72	178.79	3.244	100.00	5.94

Continuación

	(1)	(2)	(3)	(4)
Comunas	Consumo Residenc. y mixto lhd 1980	Ingreso Real per cápita x comuna 1978	% de hogares con tubería de agua	Personas por vivienda 1980
73	93.89	2.949	100.00	5.65
74	113.26	3.323	96.84	6.67
82	174.00	3.351	74.52	6.31
83	232.09	13.419	100.00	5.17
84	209.35	5.717	100.00	7.26
85	151.14	4.577	100.00	6.71
91	195.32	7.588	83.16	6.99
92	92.94	1.177	80.52	8.84

FUENTES: EAAB - Matriz de Variables Socioeconómicas
 CCRP- Estudio de proyecciones de población, ingreso y empleo
 Bogotá, 1982
 DANE- Encuesta de Hogares, 1978

sinificativo en la explicación del cambio en los niveles de consumo de agua así:

$$C = 2.58 Y^{0.497} \quad N: 36$$

$$\text{Valor T calculado: } 4.61 \quad F \text{ Cond: } 21.24 \quad R^2: 0.62$$

La variable PV por sí solo presenta significancia sin duda por su correlación con Y.

Similares resultados se obtuvieron en Medellín^{1/}; en este caso se relacionó la información para las regresiones de corte transversal en 29 de los 33 circuitos en los cuales es zonificada la ciudad por las Empresas Públicas (4 circuitos no disponen de información socioeconómica completa). La información base se presenta en el Cuadro No. 26 y el modelo especificado el siguiente:

$$C = a Y^\alpha R^\beta Hh^\gamma Pv^\delta$$

donde:

- C : consumo per cápita por circuito en mts³/mes
- Y : ingreso per cápita por circuito
- R : Horas mensuales de racionamiento por circuito
- Hh : habitantes por hectárea por circuito
- Pv : personas por vivienda por circuito

Hechas las regresiones se observa significancia solamente del modelo que considera el ingreso así:

^{1/} En análisis de elasticidad precio realizados por Empresas Públicas tampoco se encontraron resultados aceptables.

CUADRO No. 26

ACUEDUCTO - MEDELLIN

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Circuito	Consumo per cápita m ³ /mes	Ingreso per cápita \$ año	Horas mens. de racionam. H/mes	Habitantes Hectárea	Personas por vivienda
América	5.92	8.771	257	203	6.37
Belencito	4.99	6.334	62	150	6.65
Campestre	5.15	6.235	159	485	6.80
Poblado	15.57	30.272	28	57	5.55
Los Parras	8.20	32.218	48	21	6.31
Nutibara	6.27	7.869	151	161	5.80
Orfelinato	7.62	11.237	84	73	4.42
Piñuela	3.66	2.848	171	252	6.63
El Rodeo	7.91	5.408	23	164	6.44
Castilla	4.84	2.688	147	387	7.29
El Volador	5.12	9.829	47	104	5.51
V. del Socorro	2.93	2.625	163	369	6.40
Batallón	6.02	6.025	50	322	6.49
Berlín	3.89	3.013	20	414	6.58
Campo Veldes	4.26	3.042	2	521	6.76
Gerona	5.10	6.770	36	265	6.42
Limoncito	6.83	8.758	16	163	6.63
Loreto	5.96	3.288	0	228	6.88
Manrique	4.18	3.294	0	262	5.88
Miraflores	3.18	3.704	0	198	6.15
Moscú	3.28	3.070	34	329	5.46
Sta. Helena	2.56	3.195	93	340	6.52
Versalles	4.14	2.589	6	343	6.85
Villa Hermosa	4.40	10.025	28	211	5.81
Pedregal	4.13	2.612	37	363	7.88
Picacho	2.91	3.252	363	409	6.75
Cucaracho	4.79	3.479	180	232	5.59
Robledo	3.50	4.014	43	92	6.57
San Cristóbal	3.19	3.614	36	106	6.41

FUENTE: Empresas Públicas de Medellín; Planeación metropolitana, Anuario Estadístico 1981.

$$C = 2.31 Y^{0.443}$$

N : 29

Valor T calculado: 6.66 F.Cond: 44.42 R^2 : 0.789

Hh únicamente también presenta significancia por su correlación con el ingreso.

Finalmente es interesante observar la similitud de los coeficientes de regresión del ingreso en los casos de Bogotá y Medellín; siendo esta una elasticidad de largo plazo puede ser involucrada en el cálculo de los consumos futuros de agua de estas unidades.

2. CONSUMOS MUNICIPALES

El consumo urbano de agua puede variar radicalmente comparando el uso per cápita entre ciudades por la gran cantidad de factores que lo determinan. Si consideramos el consumo residencial entonces el clima, los niveles de ingreso y otras variables socioeconómicas son fundamentales. Agregando el consumo comercial, público e industrial se introducen otra serie de factores como el tamaño e importancia de la ciudad. Finalmente, la calidad del servicio, el nivel de pérdidas y el racionamiento determinarán el monto del consumo per cápita en cada municipio.

En seguida se revisarán las hipótesis generales sobre el consumo urbano de agua para Colombia. En particular que exista una significativa asociación estadística entre el consumo per cápita municipal y los niveles medios de ingreso; en consecuencia las actuales y futuras dotaciones

municipales de agua podrían ser estimadas en términos per cápita de funciones de la forma $C = f(y)$. En segundo lugar, chequear la correlación de consumo y temperatura media; y por otra parte, según la disponibilidad de información sobre los municipios, cuantificar el efecto de otras variables para finalmente construir un modelo de regresión que estime el consumo municipal per cápita con las principales variables independientes. ^{1/}

En el primer ejercicio se intentó establecer la relación del consumo per cápita (en los municipios cuya Empresa de Acueducto fue encuestada por los Consultores) con la variable ingreso.

En el cuadro No. 27 se resume la información para los municipios de la encuesta. Respecto al ingreso se destacan las dificultades para determinar el nivel medio de ingreso de la población de los municipios; en un principio se trató de construir un 'proxy' del ingreso en estas ciudades con una combinación de los siguientes indicadores: consumo residencial y comercial de energía eléctrica en términos per cápita, cheques pagados per cápita promedio de 3 años, parque automotor de servicio particular por

^{1/}

Este aspecto metodológico se planteó con más detalle en la introducción del informe.

CUADRO No. 27

PRODUCCION Y CONSUMO DE AGUA EN LAS PRINCIPALES CIUDADES (miles mts³).

Año	CONSUMOS FACTURADOS				Total	Pérdidas %	Producción total	
	Residencial	Comercial	Industrial	Público y otros				
Medellín	1981	86.102.7	14.703.3	12.954.6	11.685.5	125.496.1	41.8	215.705.9
Barranquilla	1982	52.831.5	10.263.9	8.693.0	3.569.2	75.357.6	37.1	119.838.8
Bogotá	1982	178.702.5	25.696.1	17.174.3	13.658.4	235.231.3	34.0	356.278.7
Cali	1982	72.054.0	13.522.5	6.543.0	9.865.5	101.985.0	36.9	161.622.0
Palmira	1981	10.414.5	1.667.5	301.4	1.198.8	13.582.0	30.4	19.510.1
Popayán	1982	11.442.6		736.5	872.6	13.051.7	37.0	20.717.0
Bucaramanga	1982	24.804.7	5.423.2	505.4	2.566.2	33.299.5	30.0	46.982.3
Manizales	1982	11.113.1	1.958.1	772.1	1.274.5	15.117.8	40.3	26.294.5
Pereira	1982	15.688.9	2.592.3	1.620.3	976.9	20.878.4	44.2	37.416.6
Pasto	1982	8.397.9	1.665.9	514.9	74.9	10.653.1	38.0	17.078.0
Montería	1981	6.327.6	295.7	142.4	21.6	6.787.3	17.2	8.199.4
Cartagena	1982	15.084.5	1.780.4	1.380.6	9.162.0	27.407.5	37.9	44.165.2
Valledupar	1982	8.184.3	913.7	239.3	518.3	9.855.6	36.4	15.496.2
Sogamoso	1982	3.305.1	587.8	143.3	2.713.1	6.749.3	17.7	8.199.4
Honda	1982	2.435.5	193.3	24.0		2.643.8	55.4	6.450.0
Armenia	1982	9.361.0	868.6	259.4	549.1	11.038.1	44.0	19.710.9
Buga	1982	5.008.5	792.4	685.2	481.6	6.967.7	30.0	9.860.9
Tuluá	1981	5.010.2	590.4	0.4	264.2	5.865.2	35.0	9.162.7
Cartago	1982	5.280.8	813.5	145.7	577.6	6.817.6	30.2	9.767.3

Fuente: Encuesta Mejía Millán y Perry Ltda

habitante, impuestos pagados por habitante y otros; sin embargo cada indicador presenta problemas y restricciones y los resultados finalmente no fueron satisfactorios. En consecuencia se recurrió a la única información disponible sobre el nivel de ingreso de todos los municipios del país, el censo-1973 ^{1/}.

En el cuadro 28 se resumen la información para las ciudades de la encuesta. En las columnas (1) y (2) las variables dependientes; la primera resulta de dividir el consumo residencial, comercial y público facturado en litros diarios por la población servida. En la segunda se expresa el consumo anual por el número de abonados al respectivo sistema. Las variables independientes del modelo: en la columna (3) el porcentaje de medidores en servicio respecto al total de medidores para chequear probables reducciones en el consumo per cápita por aumento en la medición; en la columna (4) la temperatura media; en la columna (5) la población total del municipio para observar alguna correlación entre el consumo y el tamaño de la ciudad; la

^{1/} Promedio del ingreso mensual de la población de 10 años y más ocupada. Se espera que esta relación de ingresos refleje la situación actual pero es indispensable para próximas investigaciones sobre este y otros temas nacionales que involucren variables socioeconómicas la realización de un nuevo censo.

CUADRO No. 28
 RESULTADOS ENCUESTA MEJIA MILLAN Y PERRY LTDA.
 MUNICIPAL 1

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	
Municipio	lhd RCO facturado	M ³ vendido Año Ab RCO	% M. serv Tot. Med	T (°C)	Población miles h.	Racionamiento (%)	Ingreso M per cápita (\$1975)
Medellín	1969	524.7	100.0	20	1.781	8.0	1.887
Barranquilla	2508	795.2	85.1	28	1.039	30.0	1.781
Cartagena	253.6	613.4	58.7	28	397	0	1.671
Manizales	228.8	388.4	94.6	17	229	0	1.604
Valledupar	205.1	529.2	95.4	28	146	0	1.834
Montería	158.1	388.7	41.3	28	135	60.0	1.553
Bogotá	159.3	465.8	100.0	14	4.030	0	1.947
Pasto	178.0	424.3	89.7	14	164	20.0	1.341
Pereira	235.8	484.4	94.6	21	231	0	1.566
Bucaramanga	194.0	526.4	100.0	23	490	0	1.565
Calí	220.1	542.7	87.1	23	1.250	0	1.798
Buga	220.6	518.7	96.2	23	83	0	1.504
Palmira	213.0	516.0	96.3	23	175	0	1.446
Armenia	199.4	376.1	82.1	20	160	0	1.459
Tuluá	180.5	412.8	94.7	23	119	1.5	1.226
Sogamoso	244.6	565.8	100.0	14	75	2.0	1.486
Honda	189.7	540.0	91.0	28	43	30.0	1.333
Cartago	248.0	434.1	85.1	23	87	10.0	1.374

FUENTE: Encuesta Mejía, Millán y Perry
 Estado Sanitario 1981
 DANE- Censo 1973

columna (6) introduce la información sobre racionamiento (100-R) como variable independiente y en la columna (7) el ingreso medio de la población ocupada.

El análisis de regresiones se hizo para funciones de la forma $C = a X_1^\alpha X_2^\beta \dots X_h^\delta$ para las dos variables dependientes. El mejor modelo relacionó el consumo en la variable dependiente (2) con el ingreso y la temperatura así:

$$C = 171.38 Y^{0.583} T^{0.26}$$

en donde,

C : Mts³/año facturados por abonado por municipio

Y : Ingreso medio per cápita por municipio

T : Temperatura media del municipio

Valor T	F. cond	$\left\{ \begin{array}{l} Y : 3.49 \\ T : 2.38 \end{array} \right.$	$R^2 : 0.532$	$F. Tot : 2.97$	$N : 18$
Calculado					

El tamaño de la ciudad, el uso de medidores y el racionamiento no revelaron asociación con el consumo probablemente por deficiencias de la información primaria en los dos últimos; en particular de la información sobre racionamiento en la encuesta de Mejía Millán y Perry y en la suministrada por el Insfopal se observa por lo general que no hay una idea precisa sobre su dimensión.

Para el segundo análisis del consumo urbano de agua se construyó una muestra nacional con la información de la Encuesta Mejía Millán y Perry y la contenida en un formulario resuelto para el ENA por el Insfopal sobre consumo de agua en las principales ciudades con acueducto bajo su administración.

En el Cuadro 29 se presenta la información completa de la muestra nacional para el análisis de regresiones. Aquí la información sobre consumo se refiere al facturado por todo concepto ^{1/}: la columna (2) lo relaciona con la población servida en litros/habitante/día y la columna (3) con el total de suscriptores en mts³/año. Para chequear la hipótesis sobre medición se ensayan dos indicadores: en la columna (4) los medidores en servicio respecto al total de medidores instalados y en la columna (5) los medidores en servicio al total de suscriptores. En la columna (6) se incluye cobertura del alcantarillado y se espera que la ausencia de éste se refleje en una reducción del consumo de agua. La información de las columnas (7), (8), (9) y (10) se explicó antes. Los municipios con asterisco en la columna de ingresos no son comparables con el resto por ser núcleos urbanos periféricos con índices de costo de vida mas altos; se probará una regresión aparte para ellos. Todas las regresiones ensayadas lo fueron de la forma

$$Y = aX_1^\alpha X_2^\beta \dots X_h^\gamma$$

En los dos modelos mas interesantes se encontró asociación del consumo de agua en particular con el nivel de ingreso y la cobertura de alcantarillado; también se observó significancia con uno de los indicadores de medición y con las personas por vivienda.

Modelo 1

$$C = 191.38Y^{0.756} CA^{0.438} MM^{-0.473}$$

1/ Para la enorme mayoría de los municipios no existe consumo industrial de agua o es un porcentaje mínimo en el gasto del sistema de acueducto; inclusive en ciudades como Medellín y Barranquilla; las de mayor proporción de uso industrial de agua proveniente del acueducto municipal ésta representa el 10 y 11% respectivamente.

CUADRO No. 29

MUNICIPAL 2

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
MUNICIPIO	lhd total facturado	m3 vendidos año por año criptor	1 med. serv total med.	1 med. serv total -sus.	Cobertura Alcantar. (1)	Racionamiento (1)	Personas por vivienda.	Temperatura (°C)	Ingreso M per capita. (\$ 1975)
Medellin	209.2	582.2	100.0	100.0	75.9	8.0	6.25	20	1.867
Barbosa	250.9	442.2	99.4	97.8	88.8	0	5.87	21	1.126
Caldas	221.6	584.7	93.6	92.2	89.2	0	7.26	19	1.29-
Copacabana	232.0	661.0	98.9	97.7	90.8	0	7.47	20	1.215
Envigado	238.0	620.3	89.0	87.1	93.5	0	7.12	20	1.896
Puerto Berrío	245.0	385.9	99.1	95.0	52.3	0	5.01	28	1.168
Turbo	171.0	519.4	92.3	85.5	25.0	0	8.29	28	1.424
Girardota	168.0	308.4	82.3	72.7	94.0	0	5.06	21	1.203
Rionegro	164.0	286.8	97.7	93.9	98.9	10.0	5.56	17	1.229
Sabaneta	232.0	564.9	99.0	98.5	80.4	0	6.67	19	1.438
Barranquilla	292.2	891.9	85.1	44.3	43.8	30.0	6.22	28	1.781
Malambo	95.5	260.9	100.0	5.9	42.7	10.0	7.50	28	1.055
Sahúnalarga	114.1	312.0	85.0	40.0	43.9	20.0	7.57	28	1.466
Cartagena	267.0	643.4	58.7	57.3	40.1	0	6.87	28	1.677
Magangué	82.9	212.5	79.0	49.5	11.9	20.0	7.00	28	1.342
Nompos	85.6	217.0	77.2	34.8	54.3	15.0	6.80	28	1.332
Arjona	84.0	215.2	77.8	53.8	50.0	15.0	7.00	28	1.075
Turbaco	89.0	229.5	67.7	50.7	10.0	10.0	7.00	27	1.282
Tunja	217.7	362.8	85.0	70.0	70.0	10.0	6.66	14	1.662
Chiquinquirá	250.0	631.6	84.6	76.7	67.1	0	6.97	15	1.172
Sogamoso	239.9	577.9	100.0	100.0	80.3	2.0	5.59	14	1.486
Manizales	306.9	407.9	94.6	94.4	71.2	0	5.11	17	1.602
Chinchiná	262.0	715.6	67.2	55.9	78.7	5.0	7.55	21	1.135
La Dorada	302.0	622.8	60.5	60.5	85.0	0	5.85	27	1.322
Anserma	169.0	337.9	74.4	42.7	67.8	0	5.54	19	1.085

Cont. Invec (du).....

MUNICIPAL 2

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
MUNICIPIO	lhd total facturado	m3 vendidos año por año	1 mod. serv total-med.	1 mod. serv total -sus	Cobertura Alcantar. (%)	Racionamiento (l)	Personas x vivienda	Temperatura (°C)	Ingreso M per cápita (\$ 1973)
Popayán	412.0	717.2	73.9	57.7	88.5	0	6.32	19	1.457
Florencia	243.4	263.9	65.9	41.8	38.3	20.0	5.41	26	1.881 *
Valledupar	272.7	541.1	95.4	69.7	37.3	0	7.76	28	1.834 *
Codazzi	137.7	304.1	89.5	77.7	2.5	0	6.06	28	1.620 *
Aguachica	142.5	315.1	85.0	40.0	50.0	0	6.07	28	1.326
Montería	161.5	396.9	41.3	7.8	28.6	60.0	7.22	28	1.553
Sahagún	73.0	190.4	100.0	6.7	40.0	30.0	7.15	28	1.235
Cereté	111.6	249.7	72.3	12.2	34.1	0	5.99	28	1.285
Lorica	162.3	393.4	86.0	15.4	59.0	0	6.60	28	1.225
Bogotá	171.8	499.2	100.0	97.5	86.2	0	7.60	14	1.947
Girardot	228.1	504.5	100.0	92.1	90.9	0	6.05	27	1.525
Madrid	201.6	412.0	56.8	39.6	53.6	5.0	5.58	13	1.210
Facatativá	138.9	312.3	94.8	55.3	82.3	10.0	6.18	14	1.314
Funza	81.4	191.3	83.3	77.8	90.0	25.0	6.43	13	1.221
Mosquera	174.7	379.3	60.5	49.7	79.4	0	5.98	13	1.429
Quibdó	304.0	409.7	100.0	62.5	58.0	0	6.15	28	1.549 *
Neiva	279.1	493.5	85.0	50.0	92.2	0	6.50	26	1.584
Rohacha	279.3	838.5	85.0	40.0	31.4	0	6.00	28	1.977 *
Maicao	211.6	458.6	85.0	40.0	0	30.0	5.80	27	1.739 *
Santa Marta Fundación	295.0	720.5	47.6	31.7	49.2	0	6.60	27	1.899 *
	200.0	422.9	85.0	40.0	23.9	0	6.71	28	1.658 *
Pasto	189.5	449.6	89.7	88.6	90.6	20.0	6.60	14	1.341
Ipiales	73.5	346.9	100.0	98.8	70.7	20.0	6.12	12	1.011

Continuación

MUNICIPAL 2

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
MUNICIPIO	hd total facturado	m3 vendidos año por año criptor	% med. serv total - mod total	% med. serv total - sus. Alcanzar.	Cobertura Alcanzar.	Racionamiento	Personas x vivienda	Temperatura (°C)	Ingreso M per cápita (\$ 9173)
Tumaco	92.9	459.1	100.0	99.9	0.9	20.0	7.80	28	1.230 *
Armenia	204.2	381.9	82.1	69.2	87.6	0	7.00	20	1.459
Cúcuta	236.6	636.2	74.7	67.2	67.3	10.0	5.77	26	1.317
Ocaña	193.2	422.1	99.3	90.0	70.8	0	6.00	22	1.243
Pamplona	218.4	476.3	84.4	84.0	45.7	0	5.99	16	1.551
Pereira	255.7	522.6	94.6	87.6	91.9	0	6.27	21	1.566
Dos Quebradas	184.4	451.8	100.0	76.6	30.0	10.0	6.39	21	1.154
La Virginia	117.3	285.8	99.8	74.8	90.5	0	6.74	26	943
Santa Rosa de Cabal	190.0	561.2	98.7	98.7	70.1	0	6.46	18	1.276
Bucaramanga	197.1	528.2	100.0	97.7	95.0	0	6.00	23	1.565
Barrancabermeja	158.4	338.8	73.3	19.5	51.5	0	5.84	28	1.879 *
Piedecuesta	127.3	283.9	83.2	83.2	60.0	0	6.10	23	1.031
San Gil	111.9	245.2	93.2	93.0	95.1	0	5.98	22	1.165
Sincelejo	176.3	273.2	98.6	30.2	56.6	55.0	6.04	27	1.484
Ibagué	107.0	267.4	97.5	95.2	79.1	0	7.00	21	1.362
Armero	250.0	523.8	84.1	80.4	75.8	0	6.10	26	1.352
El Espinal	202.6	405.0	75.6	74.4	53.8	10.0	5.50	26	1.304
Honda	207.7	588.0	91.0	73.8	73.0	30.00	6.75	28	1.333
Cali	230.9	590.6	87.1	81.4	89.6	0	7.45	23	1.798
Buga	244.6	522.1	96.2	95.2	89.4	0	7.09	23	1.504
Palmira	217.9	526.0	96.3	96.3	97.6	0	7.30	23	1.446
El Cerrito	190.0	484.2	96.4	92.3	66.1	0	7.00	23	1.132
Tuluá	191.4	437.6	94.7	94.3	67.1	1.5	7.17	23	1.226
Buenaventura	283.3	588.5	85.0	40.0	30.3	10.0	5.80	26	1.625 *
Cartago	253.4	440.9	85.1	83.5	74.7	10.0	6.14	23	1.374
Arauca	171.6	375.8	93.5	46.0	23.0	0	5.68	28	2.051 *

FUENTE: Encuesta MFP, Insfopal, Estado Sanitario 1981, Censo DANE, 1983

en donde,

- C : lts/h/día facturados por municipio
 Y : Ingreso medio per cápita por municipio
 CA: Porcentaje de cobertura del alcantarillado por municipio
 MM: Porcentaje de medidores en servicio sobre el total de medidores por municipio

$$\text{Valor T calculado} \left\{ \begin{array}{l} Y : 3.21 \\ CA: 4.95 \\ MM: -2.10 \end{array} \right. \text{ F.Cond} \left\{ \begin{array}{l} Y : 10.30 \\ CA : 24.46 \\ MM: 4.40 \end{array} \right. \begin{array}{l} R^2 : 0.662 \\ \text{F.Tot}; 13.97 \\ N : 57 \end{array}$$

Modelo 2

$$C = 111.85 Y^{0.884} CA^{0.340} PV^{-0.646}$$

en donde,

- C : lts/h/día facturado por municipio
 Y : Ingreso medio per cápita por municipio
 CA: Porcentaje de cobertura de alcantarillado por municipio
 PV: Densidad de personas por vivienda por municipio

$$\text{Valor T. Calculado} \left\{ \begin{array}{l} Y : 3.69 \\ CA : 4.08 \\ PV : -1.83 \end{array} \right. \text{ F.Cond} \left\{ \begin{array}{l} Y : 13.62 \\ CA : 26.67 \\ PV : 3.34 \end{array} \right. \begin{array}{l} R^2 : 0.654 \\ \text{F.Tot: } 13.21 \\ \text{No.Observ: } 57 \end{array}$$

Estos resultados confirman la bondad del indicador utilizado para medir el nivel de ingreso y su correlación con el consumo de agua. Por otra parte, en ninguno de los modelos

probados se encontró correlación con la temperatura media sin duda por el hecho de que, en los municipios de la Costa, donde se espera por esta variable un mayor consumo, se observan las mayores deficiencias de los sistemas de acueducto y alcantarillado.

En consecuencia, se ensayaron nuevas regresiones únicamente para los municipios del interior del país; en estos la temperatura se revela como explicatoria del consumo como en los siguientes modelos seleccionados.

Modelo 3.

$$C = 536.45 Y^{0.993} MM^{-0.644} T^{0.541}$$

en donde,

C : lhd facturado por municipio

Y : Ingreso medio per cápita

MM : Medidores en servicio sobre medidores instalados

T : Temperatura media del municipio

Valor T Calculado	$\left\{ \begin{array}{l} Y : 4.00 \\ MM : 2.44 \\ T : 3.36 \end{array} \right.$	F. Cond.	$\left\{ \begin{array}{l} Y : 16.01 \\ MM : 5.96 \\ T : 11.29 \end{array} \right.$	R^2 : 0.631
				F. Tot : 9.50
				N : 47

Modelo 4

$$C = 10.24 Y^{0.849} MM^{-0.627} T^{0.461} R^{0.909}$$

en donde,

- C : lhd facturados
 Y : Ingreso per cápita
 MM : Medidores en servicio sobre medidores instalados
 T : Temperatura
 R : Porcentaje de racionamiento (100-r)

$$\text{Valor calculado} \left\{ \begin{array}{l} Y: 3.74 \\ MM: -2.45 \\ T: 2.86 \\ R: 1.95 \end{array} \right. \text{ F.Cond.} \left\{ \begin{array}{l} Y : 14.03 \\ MM: 6.03 \\ T : 8.15 \\ R : 3.79 \end{array} \right. \begin{array}{l} R^2 : 0.67 \\ \text{F.Tot.: } 8.53 \\ N : 47 \end{array}$$

En los modelos de consumo de agua de las ciudades del interior desapareció la cobertura de alcantarillado como variable significativa dado que las peores coberturas se encuentran en los municipios de la Costa asociados con el bajo consumo per cápita de agua.

Respecto a las regresiones hechas únicamente para las ciudades de la Costa por un lado, y por otro, para las localidades de frontera, solo se observó significancia de la variable ingreso con altas elasticidades de 2.2 y 1.3 respectivamente; dado el bajo número de observaciones no se tomaron en cuenta estos resultados.

Para aplicar una regresión a todos los municipios del país y obtener así la información aproximada del consumo per cápita urbano de agua para los balances actuales se requiere de un modelo para el cual se disponga de información a nivel

nacional. No fué posible adoptar ninguno de los modelos anteriores por carecer de información sobre alguna de las variables a nivel nacional. El modelo seleccionado relaciona consumo per cápita de agua con ingreso y temperatura, variables de las cuales se toma la información para todos los municipios del país y las que se revelaron como las de mayor significancia en la explicación del consumo. El modelo, derivado de las regresiones para las ciudades del interior es el siguiente:

Modelo 5

$$C = 34.68 Y^{0.872} T^{0.497}$$

en donde,

C : litros/habitante/día facturado por municipio.

Y : Ingreso medio per cápita por municipio

T : Temperatura media

Valor	F. Cond	Y: 12.96	R ² : 0.561	T.Tot: 10.12
Calculado				

En resumen, en el análisis de regresiones se confirman las hipótesis de comportamiento del consumo a cambios en ciertas variables. El nivel de ingreso y la temperatura son las principales variables explicatorias; la elasticidad ingreso generalmente observada en los modelos municipales es superior, como era de esperarse, a la elasticidad ingreso encontrada para Bogotá y Medellín y superior también a la derivada para esta variable en los estudios de países mas desarrollados.

Para futuras investigaciones sobre este tema se hace necesario un esfuerzo en la recopilación de información mas precisa sobre consumo medido y sobre las variables explicatorias para obtener muestras superiores sobre las cuales aplicar los análisis bien sea en series de tiempo o en sección transversal.^{1/}

Finalmente algunas anotaciones sobre el problema de las pérdidas, definidas aquí como la diferencia entre el agua producida o bombeada a los consumidores y el agua efectivamente facturada. Hemos visto del estudio de pérdidas que se hizo en Medellín, que estas obedecen a diversos factores. Por una parte, las pérdidas técnicas: fugas en redes principales, secundarias y domiciliarias, consumo en plantas de tratamiento y rebose de tanques. Por otra parte, las pérdidas económicas; imprecisión en la medición, deficiencia en los medidores, conexiones fraudulentas o simplemente ausencia de la medición del consumo real.

De la información recopilada por los Consultores para este estudio se observa que el nivel de pérdidas varía bastante entre ciudades y aún entre regiones, encontrándose las mayores deficiencias en la Costa Atlántica. Aunque estudios sobre pérdidas no han sido hechos en los municipios, es de esperar que las pérdidas técnicas sean por lo

^{1/} En el Sistema de Información del ENA se proponen modificaciones en los aspectos de información del Estado Sanitario que sirven para estos fines.

general un porcentaje relativamente estable y que entre mayor sea la proporción de las pérdidas totales, las pérdidas económicas, particularmente la falta de medición, contribuyen en un mayor grado a su explicación.

Desde el punto de vista de los balances a realizar en el presente estudio, la cuantificación del nivel de pérdidas es esencial puesto que, sumadas a los consumos facturados, determinan la producción total de agua que realiza el sistema municipal respectivo para satisfacer la demanda en un momento dado. Los niveles promedios de pérdidas agrupados regionalmente según la muestra nacional son los siguientes:

Atlántico, Bolívar, Cesar, Córdoba, Chocó, Guajira, Magdalena, Sucre	47.18%
Antioquia, Caldas, Quindío, Risaralda	44.47%
Caquetá, Huila, Meta, Tolima	35.00%
Valle del Cauca	33.58%
Cauca, Nariño	29.40%
Santander, Norte de Santander	28.47%
Boyacá, Cundinamarca	<u>25.80%</u>
Promedio de la muestra	37.65%

Estos promedios regionales se aplican para obtener el consumo total de agua en cada municipio. Se debe observar que las pérdidas son altas en comparación con los promedios en Estados Unidos de 20 a 30%.

En consecuencia, para proyectar los consumos urbanos de agua para los balances actuales se utiliza el modelo 5 afectado por el nivel regional de pérdidas para obtener el nivel de producción necesario para satisfacer la demanda total; los resultados se presentan en el apéndice 2. En cuanto a la proyección de consumos futuros se utilizarían algunos de los modelos para los cuales sea factible la estimación a nivel municipal de las variables importantes como nivel de ingreso, cobertura del alcantarillado y cobertura del sistema de medición.

A.IV CONSUMO RURAL DE AGUA

El consumo de agua per cápita en las zonas rurales de todo el mundo es siempre inferior al consumo urbano; en las zonas rurales la disponibilidad de las fuentes es mas restringida y los pobladores por lo general no poseen un número importante de artefactos que consuma agua. Esto se observa en el Cuadro 30 en el cual la Organización Mundial de la Salud compara el consumo diario de agua en las zonas urbanas y rurales de regiones en desarrollo.

CUADRO No. 30

CONSUMO DIARIO DE AGUA EN SISTEMAS URBANOS Y RURALES
(litros per cápita-promedio diario)

	Zonas urbanas (conexiones domiciliarias)	Zonas Rurales (fuentes públicas)
Latinoamérica	270	130
Mediterráneo Oriental	170	63
Pacífico Oriental	225	62
Asia Sudoriental	120	50
Argelia, Marruecos, Turquía	137	43
Africa	177	25
Promedio	185	63

Fuente: OMS, Abastecimientos de Agua y Alcantarillado en Comunidades de los Países en Desarrollo, Statistics Report, Vol.26, 1973

Además gran parte del agua disponible para consumo humano en las zonas rurales de países en desarrollo no poseen las características mínimas de calidad y adicionalmente los sistemas de alcantarillado no existen o son inadecuados. En el capítulo A.1 sobre las dotaciones de agua en Colombia se observó como las coberturas de los servicios de acueducto y alcantarillado en las zonas rurales son bastante inferiores a las urbanas en todo el país.

Sin embargo, aparte de las condiciones estructurales que determinan estos niveles de consumo, existe un amplio grupo de variables que inciden en la cantidad de agua consumida por los pobladores rurales. Una adecuada descripción de estos, se encuentra en un estudio del Instituto Tecnológico de Asia^{1/} uno de los pocos documentos sobre el tema que supera el problema de información inherente al sector, en base a trabajo de campo, y presenta detallada información sobre consumo de agua en 14 comunidades rurales de Tailandia.

Entre los factores considerados, el tipo de conexión se reveló como uno de los más importantes; de esta forma por pilas públicas el rango de consumo varía entre 10 y 37 lhd mientras que para las viviendas con conexiones domiciliarias se estableció un rango entre 24 y 160 lhd. Más

^{1/} R.J. Frankel; P.Shouvanavirakul; Water Consumption in Small Communities of Northeast Thailand, Asian Institute of Technology, Bangkok; en WRR, Octubre 1973.

aún, si la fuente no es vecina de los hogares, la distancia de esta es determinante; si el agua debe ser acarreada a considerable distancia, por ejemplo, dos kilómetros, el consumo puede llegar a solo 5 lhd lo cual se aproxima al mínimo necesario para beber y cocinar^{1/}. En este caso poca agua sería utilizada para el aseo personal y el del hogar.

En segundo lugar, las horas hábiles de disponibilidad de agua a través del sistema de distribución es un factor esencial pues por lo general en las zonas rurales los sistemas públicos o comunitarios adolecen de mas fallas técnicas y administrativas que en zonas urbanas. También la presión y los caudales de fuentes y conexiones determinan el nivel de consumo.

Respecto al clima, el consumo de agua debe ser superior en las regiones calientes; sin embargo, se presentan efectos estacionales importantes que afectan la operación de los sistemas rurales de distribución de agua. En las estaciones calurosas o secas, la demanda por agua se incrementa.

En el estudio mencionado se midieron incrementos entre el 20 y el 35% en el consumo de agua proveniente de los sistemas de distribución (pilas públicas y conexiones domiciliarias)

^{1/} World Bank, Village Water Supply, March 1976, Pg. 32

en la estación seca respecto a la húmeda; en invierno, la disponibilidad del agua de las lluvias en la vivienda mediante simples sistemas de recolección y depósito, es más conveniente que el acarreo desde la pila pública o de otra fuente más lejana.

Si las lluvias son frecuentes a lo largo de todo el año este sistema puede volverse permanente, tal como sucede en la Costa Pacífica colombiana y en el Chocó.

Por otra parte, consideraciones sobre precio del agua e ingresos de los consumidores son igualmente válidas en el caso de la demanda rural por agua. Respecto al primero, la diferencia fundamental se observa al introducir sistemas de tarifas en base a la medición del consumo; en cuanto al nivel de ingreso de los consumidores, se anota que entre mayor sea este ".... más inclinados se sienten los ciudadanos (rurales) a pedir conexiones domiciliarias y en mejores condiciones se encuentran para pagar por ellas" ^{1/} Como se planteó antes, si la vivienda está conectada directamente al sistema, los consumos se elevan notablemente y los beneficios por salud se obtienen plenamente.

En Colombia, sistemas rurales de distribución de agua con medidores son casi inexistentes; el INS tiene un incipiente programa de medidores. La Federación de cafeteros por

^{1/} R.J. Saunders, J.J. Warford; Agua para Zonas Rurales y Poblados, Banco Mundial, 1977.

intermedio de los Comités de Cafeteros de Caldas, Quindío y Risaralda ha implementado en estas zonas varios programas de acueducto con medición. Por ejemplo en 8 acueductos rurales de Risaralda se observa entre 1980 y 1983 un promedio de consumo de 580 lhd en el primer semestre del año y de alrededor de 700 lhd en el segundo semestre. Este aumento sin duda se debe a los meses de cosecha cafetera; sin embargo estos elevados consumos se presentan por la utilización de los sistemas de distribución para el beneficio del café y en segundo lugar, por un altísimo nivel de pérdidas comprobadas en desperdicio de agua, fugas y rebose de tanques.

Bajo estas circunstancias no es posible chequear ninguna de las hipótesis sobre consumo rural de agua y los coeficientes de consumo deben ceñirse a los utilizados por el INS como capacidad de dotación. En los programas ordinarios del Instituto la dotación promedio es de 120 lhd con un máximo de 140 lhd en climas cálidos y mínimo de 80 lhd en climas fríos. Aquí se incluyen las pérdidas estimadas en un mínimo de 30%. Ocasionalmente las dotaciones se elevan en algunos casos especiales de corregimientos con cierto grado de desarrollo. El INS ha instalado hasta Diciembre de 1981, 1509 acueductos rurales de los cuales 1.209 operará por gravedad y 300 por bombeo y son manejados por Juntas de administración comunales.

Finalmente algunas anotaciones sobre el tipo y la calidad del servicio en el sector rural en Colombia. Según el estudio Nacional de Salud 1980 solo el 14% de la población

rural dispersa contaba con agua dentro de las viviendas y el 83% carecía del servicio ^{1/} Respecto a la población rural nucleada solamente el 56% tienen agua en la vivienda. De acuerdo al Estado Sanitario de 1981, de la población rural nucleada que dispone de servicio de acueducto, el 80% la emplea sin ningún tratamiento, luego el 1% realiza desinfección, el 2% filtración, el 15% sedimentación y filtración y únicamente el 2.4% tiene un tratamiento completo. Solamente los dos últimos sistemas de tratamiento suministran agua potable. Y de la Encuesta Nacional de Hogares 1981-DANE-DNP-PAN se observa que del agua para tomar o preparar bebidas, el 60% de la población rural del país la emplea sin hervirla y sin tratamiento alguno.

^{1/} Acarreo, aguas lluvias y otros

B. EL CONSUMO DE AGUA EN EL SECTOR INDUSTRIAL

La escasez de estudios sobre la demanda y consumo de agua para propósitos industriales a nivel agregado es tal que, inclusive en Estados Unidos y otros países hasta hace algún tiempo se tomaban como fijos los coeficientes de consumo cuando se proyectaban las demandas futuras de agua. En Colombia esta temática se trata generalmente a nivel industrial en los estudios de factibilidad de cada firma o proyecto, en el análisis de las cantidades demandadas y las fuentes posibles de abastecimiento, después que han sido fijados los parámetros de producción. Mayor atención han recibido los problemas de eliminación y descarga de aguas siendo la industria uno de los mayores productores de desechos líquidos contaminantes.

Ahora a nivel internacional se considera el agua un factor de producción más, sujeto a un precio y a relaciones de complementaridad y sustitución con los otros factores de producción; por otra parte, las estimaciones de las cantidades de agua demandadas en el futuro deben ser determinadas mediante estudios de medición del impacto del cambio tecnológico en los coeficientes de utilización del agua industrial.

Sin embargo, abordar estos temas en un estudio global sobre los sectores industrial, minero y energético puede convertirse en algo muy complejo, mas aún si se carece de la estadística básica para ello. Un estudio como este

en los Estados Unidos ^{1/} trató el problema de la determinación de coeficientes en los años 2000 y 2020 con cierto detalle en los seis grupos industriales más intensivos en el uso del agua: alimentos y bebidas, pulpa, papel y cartón, productos químicos, petróleo, carbón y sus derivados, metales primarios y termoelectricidad. La extrapolación simple de los coeficientes de captación, uso y recirculación de agua se realizó para las industrias textil, maderas, caucho, plásticos, cuero y minerales no metálicos, mientras que el resto del sector manufacturero fué tratado en forma agregada.

En el estudio de recursos hidráulicos en Chile ^{2/} solamente se hicieron proyecciones de producción para los sectores de alimentos y bebidas, papel y celulosa, productos químicos, refinación de petróleo y siderurgia; todas las demás actividades industriales se agruparon en una sola categoría. Sin embargo a falta de información directa sobre consumo de agua se hizo una estimación para los grupos industriales proyectados, aplicando los coeficientes de uso de agua de Estados Unidos con algunas correcciones. Sin embargo sobre las tasas de captación se supuso iguales las de 1985 a las observadas en 1957.

^{1/} N. Wollman, G.W. Bonem; The Outlook for Water-Quality, Quantity and National Growth; Resources for the Future, Inc.; Washington, 1971.

^{2/} N. Wollman, Los Recursos Hidráulicos de Chile, ILPES, Santiago, 1969.

En Venezuela ^{1/}, la investigación se orientó mediante una encuesta industrial a nivel nacional para calcular en 13 subsectores industriales la participación del valor del agua consumida sobre el valor agregado, el valor de la producción y el número de personas ocupadas. La proyección del valor del agua a consumir se ligó a la del Producto Bruto Industrial y la población ocupada considerando estables los coeficientes obtenidos en la encuesta. Finalmente se supusieron constantes al año 2000 las relaciones entre el valor del agua calculados por el valor agregado y las personas ocupadas.

Más recientemente el Plan Nacional Hidráulico de México ^{2/} comienza por hacer una clasificación industrial según el consumo unitario de agua y el grado de contaminación que pueden provocar en el recurso. Aquí se identifica a la industria azucarera como la actividad de mayor volumen consumido de agua. Las proyecciones de consumo se relacionaron con las del Plan Nacional de Desarrollo Industrial el cual señala las industrias a impulsar en forma prioritaria y las regiones donde se plantea el desarrollo. Finalmente, dada la escasez del recurso en varias zonas de México, el estudio calcula los volúmenes de extracción al

^{1/} COLPLANARH, Plan Nacional de Aprovechamiento de los Recursos Hidráulicos, Tomos I y II, Caracas, Venezuela, 1972.

^{2/} SARH, Plan Nacional Hidráulico, México, 1981.

año 2000 por motivos industriales en las 14 subregiones en las cuales se divide el país y realiza los balances e identifica los déficits con una metodología muy similar a la del ENA.

En el presente estudio, la investigación sobre consumo industrial de agua en Colombia, se limita a la cuantificación de los coeficientes de consumo y tasas de retorno de un cierto número de empresas encuestadas; con la información adicional de entidades como la CVC y el Inderena se determinan los consumos para los balances actuales. En la fase II del estudio se proyectarán los consumos en base a los coeficientes actuales. Para las industrias más intensivas en su uso se tendrá en consideración el posible cambio tecnológico que incidiría en los coeficientes de consumo y las tasas de retorno.

B.I

LA DEMANDA INDUSTRIAL POR AGUA

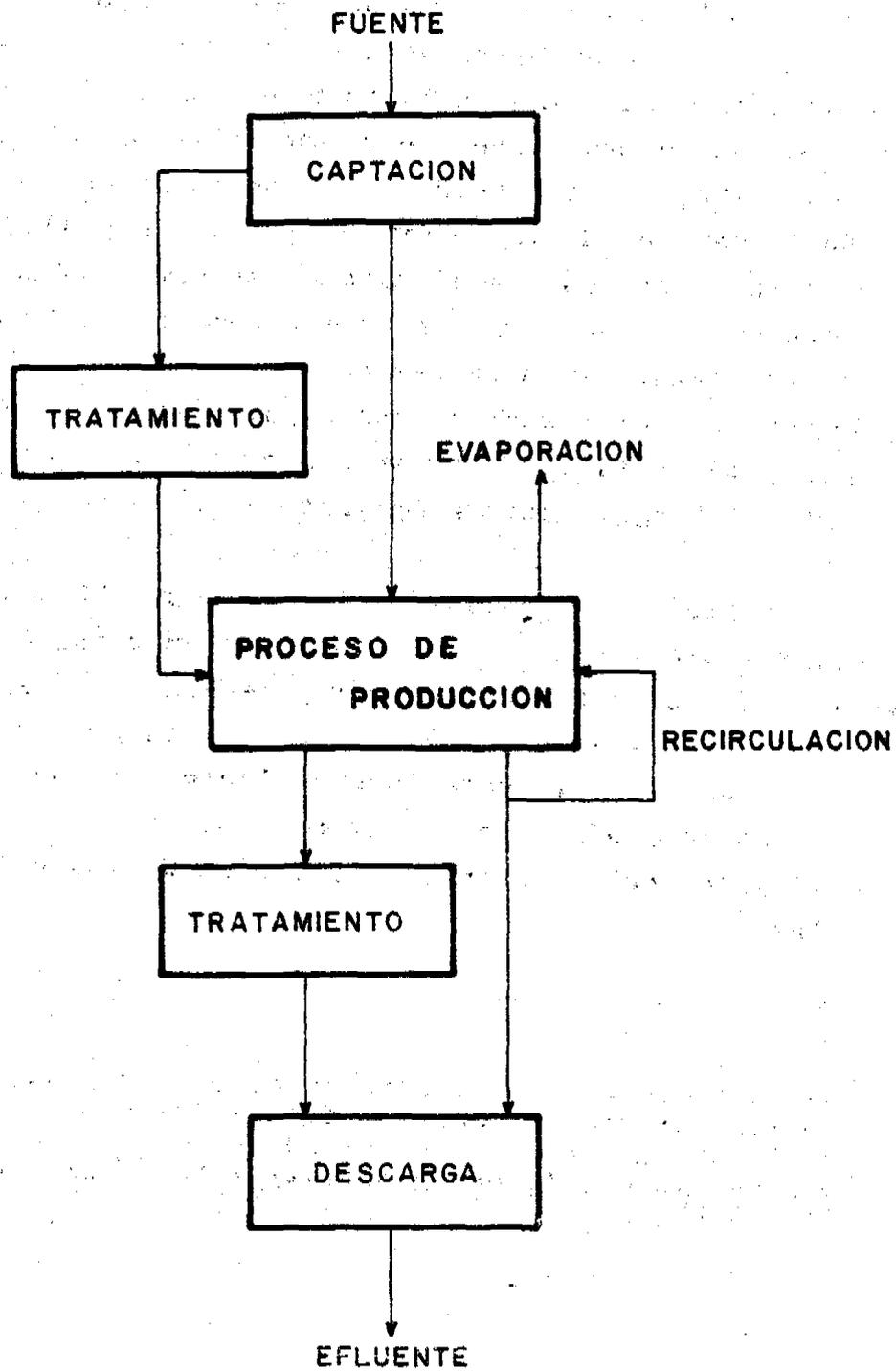
Existen numerosos términos para definir la demanda industrial por agua debido a las múltiples interacciones que ésta puede tener en los diversos procesos industriales; en particular la captación por unidad de un mismo producto en dos empresas puede diferir si en una de ellas se emplean sistemas de recirculación de agua. El costo, la calidad y la disponibilidad de las fuentes de agua pueden inducir a dos empresas similares a emplear el agua en proporciones diferentes.

En el gráfico 2 se presentan en forma general algunas de las principales interacciones del uso del agua en la industria. Los tres sistemas mas importantes de captación para la industria son la bocatoma, el pozo y el servicio por acueducto; antes de su introducción al proceso de producción, el agua puede requerir algún tratamiento (según la calidad de la fuente o el tipo de producto). En el proceso de producción el agua puede ser incorporada al producto o perderse por evaporación; en el procesamiento de algunos insumos también se puede producir agua aumentando así el caudal de descarga. Cuando se presenta recirculación ésta debe ser medida como una proporción del total del agua captada aplicada en el proceso.

En este estudio, la cantidad total de agua captada se entenderá como la necesaria para la producción, la cual incluye agua de proceso, de refrigeración o para consumo humano; análogamente, el coeficiente de retorno se mide por el caudal del efluente independientemente de si en el proceso se produce o nó, agua. Los coeficientes así obtenidos se emplearán en la derivación de los balances actuales. ^{1/}

^{1/} En la introducción de este informe se reseñaron algunas de las características económicas del agua como insumo en la producción las cuales serán revisadas con la información disponible en industrias específicas en la Fase II del ENA.

GRAFICO N°2
SISTEMA GENERAL DEL USO DEL AGUA EN LA INDUSTRIA



B.II. COEFICIENTES DE CONSUMO Y DE RETORNO DE AGUA EN LA INDUSTRIA COLOMBIANA.

Para la determinación de los coeficientes de consumo de agua en la industria en Colombia no fue posible acudir a la información recopilada del DANE en su Encuesta Anual Manufacturera, ya que en el renglón respectivo (EAM-Capítulo VI- Numeral 5), el gasto en pesos en el servicio de agua está agregado con el gasto en alcantarillado, correo y teléfonos ^{1/}. De mayor utilidad resultó la consulta en las ciudades de Bogotá, Cali y Medellín de los registros del acueducto respectivo. La CVC suministró además información completa sobre los caudales captados y retornados por las industrias localizadas en su área de influencia; y de los estudios de ordenación y planeamiento del Valle de Aburrá realizados por el Inderena se extrajo información similar para las industrias allí localizadas ^{2/}. Las series de producción se obtuvieron de varias fuentes, como el Dane y la Encuesta de Fedesarrollo. Sin embargo, la información mas completa se obtuvo de la Encuesta diseñada por los Consultores (Apéndice 1).

La Encuesta se aplicó a empresas medianas y grandes de diversos sectores en varias regiones del país. Se determina

^{1/} Ver el Capítulo sobre Sistemas de Información. Se sugiere al DANE la modificación del formulario de la EAM.

^{2/} CVC, Consumo de agua en el Sector Industrial, Información suministrada a los Consultores, Cali 1982.

-Inderena, Ordenamiento y Planeación del Valle de Aburrá, 1982.

la localización de la planta, la producción en unidades físicas para los productos principales en los últimos años y las proyecciones de producción para los años 1985 y 1990; las fuentes de suministro de agua, el consumo anual según fuente y el volumen anual de descarga.

En resumen se obtuvieron coeficientes de consumo en 73 empresas y coeficientes de retorno en 66. Los resultados se presentan por productos en los cuadros 31 y 32. En la columna (2) del cuadro 31, el número de empresas con información sobre consumo de agua en el respectivo grupo de productos; la columna (3), las unidades de medida del coeficiente. En la columna (4) la fuente de abastecimiento; cuando se tienen dos fuentes se presenta la estimación de la proporción de agua que se obtiene de cada fuente. En la columna (5) se presentan los coeficientes en su rango de máximos consumos; esto para obtener una visión holgada de los requerimientos de agua por el sector industrial ^{1/}. Los coeficientes de retorno se miden como el volumen del efluente en proporción al volumen captado. (Cuadro No. 32).

De la información condensada en estos cuadros y la presentada en los estudios internacionales se puede determinar

^{1/} Una forma más precisa de medir la intensidad en el consumo de agua es mediante la estimación del gasto en agua como proporción del valor agregado, el valor de la producción o el empleo.

una lista ampliada de las actividades industriales de importancia para una investigación más detallada de los aspectos del consumo de agua:

- alimentos y bebidas en actividades como la de los ingenios azucareros, los productos lácteos, cervezas y gaseosas.
- producción de pulpa, papeles y cartones
- metales primarios, en particular la industria siderúrgica y la fundición.
- productos químicos
- cemento
- minería del carbón
- derivados del petróleo y del carbón
- generación termoeléctrica.

A esta lista se pueden agregar otras actividades industriales específicas de alto consumo de agua y otras más de interés por su factibilidad de desarrollo en Colombia antes del año 2000 como por ejemplo la minería e industria del cobre.

CUADRO No. 31

COEFICIENTES DE CONSUMO DE AGUA EN LA INDUSTRIA COLOMBIANA

(1) Productos	(2) No.de empresas con información	(3) Unidades	(4) Abastecimiento	(5) Rangos Máximos (m3).
Galletería, confitería, concen- trados para bebidas, protefna	1	m3/ton	A	6-7
Dulces, chocolates	1	m3/ton	B	50-55
Leche en polvo, condensada, caldos, bebidas fortificantes, café soluble	3	m3/ton	B(40),P(60)	40-260
Yogurt, queso, crema de leche	1	m3/ton	P	50-60
Levaduras	1	m3/ton	P	13-14
Maíz Molido	1	m3/ton	A	10-11
Aceite, manteca, tortas	1	m3/ton	A	4-5
Margarinas, crema dental, desodorante, Champú	1	m3/ton	A	6-10
Azúcar, miel	12	m3/ton	B,P	20-260
Gaseosas	10	m3/1000 bot	A	2-3
Cerveza, malta	4	m3/1000 bot	A,B	5-7
Aguardiente, ron	1	m3/1000 lts	A	50-60

Continuación.....

(1) Productos	(2) No. de empresas con información	(3) Unidades	(4) Abastecimiento	(5) Rangos máximos (m ³)
Telas crudas y acabadas	3	m ³ /1000 m	B	70-120
Hilados	1	m ³ /1000 m	A	10-15
Poliamida textil e industrial, fibra de poliéster liso, textu rizado	1	m ³ /ton	B	90-120
Filamentos	2	m ³ /ton	B(70)P(30)	150-250
Papel, papel esmaltado, cartón	2	m ³ /ton	B	100-140
Llantas, neumáticos	2	m ³ /1000 U	B(50) P (50)	200-400
Urea	1	m ³ /ton	A	8-10
Fertilizantes compuestos	1	m ³ /ton	A	3.6-40
Amoniaco, ácido nítrico	1	m ³ /ton	A	8-10
Acido cítrico, alcohol, ácido acético, acetatos	1	m ³ /ton	P	300-350
Bisulfuro de carbono, sulfato de manganesa	1	m ³ /ton	B	1500-2000
PVC, lámina plástica, polivinilo	1	m ³ /m ²	A	15-20

Continuación.....

(1) Productos	(2) No. de empresas con información	(3) Unidades	(4) Abastecimiento	(5) Rangos máximos (m3)
Plastificantes, resinas anhídrico ftálico	1	m3/ton	A	25-30
Jabón, detergentes	3	m3/ton	A	10-15
Resinas de cloruro de polivinilo	1	m3/ton	A	11-12
Petróleo crudo	2	m3/1000 B	P	20-110
Gas natural	2	m3/1000 B	P	1-5
Cemento	6	m3/ton	B	3-7
Carbón subterráneo	1	m3/ton	B	2-3
Carbón superficial	1	m3/ton	P	0.03
Acero terminado A.H.	1	m3/ton	A	90-100
Acero terminado H.E.	1	m3/ton	A(60)B(40)	20-22

A- Acueducto
B- Bocatoma
P- Pozo

Fuente: Encuesta MMP, CVC, INDERENA, EAAB.

CUADRO No. 32

COEFICIENTES DE RETORNO DE AGUA EN LA INDUSTRIA COLOMBIANA

(1) Productos	(2) No. de empresas con información	(3) Rangos (%)
Galletería, confitería, concen- trados para bebidas, proteína	1	80
Dulces, Chocolates	2	100
Leche en polvo, condensada, caldos bebidas fortificantes, café soluble	3	81-112
Yogurt, queso, crema de leche	1	90
Levaduras	1	100
Gaseosas	10	75-85
Cerveza, malta	3	72-93
Telas crudas y acabadas	3	90-95
Hilados	2	88-95
Poliamida textil e industrial, fibra de poliéster, poliéster	1	92
Filamentos	2	88-100
Papel, papel esmaltado, cartón	2	85-100

Continuación.....

(1) Productos	(2) No. de empresas con información	(3) Rango (%)
Papeles suaves, papel	1	100
Cuero curtido	6	95-100
Llantas neumáticos	2	15-75
Amoníaco, ácido nítrico	1	20-25
Fertilizantes compuestos	1	50-60
Acido cítrico, alcohol, ácido acético, acetatos	1	100
Bisulfuro de carbón, sulfato de magnesio	1	75-80
Plastificantes, resinas	1	86
Pinturas, lacas	1	70
Tintas	1	95
Jabón, detergentes	2	73-80
Resinas de cloruro de polivinilo	1	90
Petróleo crudo	2	62-140
Gas natural	2	20-100

Continuación....

Productos	No. de empresas	Rangos (%)
Cemento	6	15-100
Carbón subterráneo	1	95
Cerámica	1	75
Laminación (acero plano)	1	100
Acero terminado (alto horno)	1	78
Acero terminado (horno eléctrico)	1	95
Automotores (ensamblaje)	1	100

Fuente: Encuesta MMP, CVC, INDERENA

B.III. LA DEMANDA DE AGUA PARA GENERACION TERMoeLECTRICA

El agua es utilizada para refrigeración en muchas industrias pero los principales usuarios para este propósito son las plantas termoeléctricas. En Colombia, mas del 90% del agua captada por estas plantas se emplea en refrigeración; en Termocartagena I,II,y III, Cospique y las nuevas plantas de Termocerrejón se utiliza agua de mar para este fin. En el Cuadro 33, se detallan las principales plantas térmicas del país con sus respectivos requisitos de agua para refrigeración. La utilización de circuitos cerrados se emplea cuando el agua es escasa, mediante la instalación de torres de refrigeración o similares en las cuales el agua recircula continuamente; aunque en este caso la captación de agua por kilowatio/hora producido baja radicalmente, la mayoría de las plantas térmicas del país disponen de fuentes adecuadas y operan con el denominado circuito abierto de refrigeración.

Para determinar una relación entre la capacidad nominal de las plantas en MW y el requisito total de agua en lts/seg se estimó con la información contenida en el cuadro 33 , de las plantas de circuito abierto la siguiente ecuación:

$$Y = 107.06 x^{0.8}$$

donde,

Y = lts./seg.

x = capacidad nominal en MW

Aunque esta función sirve para estimar el consumo de agua para cualquier tamaño de termoeléctrica con circuito abierto ^{1/}, en la Fase II del ENA se precisará más este aspecto puesto que en los consumos de agua influyen otras variables como la eficiencia térmica, la temperatura y calidad del agua y las condiciones del medio ambiente.

Respecto a las pérdidas, éstas se deben básicamente a la evaporación y varían según la calidad del agua y condiciones ambientales pero en general se obtienen pérdidas mínimas en las plantas térmicas.

B.IV. CONSUMO INDUSTRIAL DE AGUA POR CIUDADES

En el Cuadro 34, se resume la información sobre el consumo industrial de agua de los acueductos municipales encuestados por los Consultores. En las columnas (6) y (7) se presenta el consumo por habitante de agua industrial en mts³/hab/año y lts/hab/día; aún en los casos de mayor consumo per cápita, este es una pequeña fracción en comparación con los consumos totales. Sin embargo, los consumos aquí señalados se refieren a las conexiones al sistema de acueducto respectivo existiendo por lo general en los diversos municipios industrias con fuentes alternas o independientes mediante pozos y bocatomas. Las industrias con altos consumos de agua de proceso o con requerimientos de ésta sin tratamiento potabilizador tienden al empleo de acueductos propios.

^{1/} Por ejemplo, la proyectada Térmica de 500 MW en el Cesar requeriría con circuito abierto de 17.871 lts/seg de abastecimiento de agua.

CUADRO No. 33

CONSUMO DE AGUA EN GENERACION TERMOELECTRICA

Planta	Capacidad nominal (MW)	Tipo de refrigeración	Requisitos de agua en lts/seg			Fuentes de agua	Máxima pérdida de agua lts/seg
			Refrigeración	Otros	Total		
Termo Zipa I	33	Abierta	1.600	100	1.700	Dulce	40
Termo Zipa II	33	Abierta	1.600	100	1.700	Dulce	40
Termo Zipa III	66	Abierta	3.000	100	3.100	Dulce	40
Termo Zipa IV	66	Abierta (1)	3.000	100	3.100	Dulce	70
Termo Zipa V	66	Abierta (1)	3.000	100	3.100	Dulce	70
Termo Zipa VI	150	Cerrada (2)	6.000	100	6.100	Dulce	100
Termo Yumbo	50	Abierta	n.d	50	n.d	Dulce	n.d
Termo Paipa I	33	Cerrada (3)	1.600	60	1.660	Dulce	50
Termo Paipa II	66	Cerrada (3)	3.300	60	3.360	Dulce	80
Termo Paipa III	66	Cerrada (3)	3.300	60	3.360	Dulce	80
Termo Barranca I	12.5	Abierta (4)	834	30	864	Dulce	Despreciable
Termo Barranca II	12.5	Abierta (4)	834	30	864	Dulce	Despreciable
Termo Barranca III	66	Abierta (4)	3.320	30	3.350	Dulce	Despreciable
Termo Tasajero	150 (5)	Abierta	6.000	60	6.060	Dulce	20
Termo Barranquilla I	66	Abierta	3.300	50	3.350	Dulce	Despreciable
Termo Barranquilla II	66	Abierta	3.300	50	3.350	Dulce	Despreciable
Termo Barranquilla III	66	Abierta	3.300	50	3.350	Dulce	Despreciable
Termo Barranquilla IV	66	Abierta	3.300	50	3.350	Dulce	Despreciable
Termo Cartagena I	66	Abierta	3.400	50 (6)	3.450	Mar	Despreciable
Termo Cartagena II	66	Abierta	3.400	50 (6)	3.450	Mar	Despreciable
Termo Cartagena III	66	Abierta	3.400	50 (6)	3.450	Mar	Despreciable

Continuación

Planta	Capacidad nominal (MW)	Tipo de refrigeración	Requisitos de agua en lts/seg			Fuentes de agua	Máxima pérdida de agua lts/seg
			Refrigeración	Otros	Total		
El Río	82	Abierta	1.800	50	1.850	Dulce	Despreciable
Caspique	51	Abierta	1.500	10 (6)	1.510	Mar	Despreciable
Termo Guajira I	150	Abierta	6.500	60 (8)	6.560	Mar	20
Termo Guajira II	150 (7)	Abierta	6.500	60 (8)	6.560	Mar	20

n.d. : No disponible

- Notas :
- (1) Se emplea torre de enfriamiento únicamente para enfriar el agua que retorna al Río Bogotá.
 - (2) En proyecto, fecha aproximada de operación, 1987.
 - (3) Sistema de enfriamiento con canales laberínticos.
 - (4) Existen dos estudios para cambiar el sistema de enfriamiento. En el primero para las tres unidades y en el segundo para la Unidad III.
 - (5) En construcción, fecha aproximada de operación, 1984.
 - (6) Agua dulce.
 - (7) En proyecto, fecha aproximada de operación, 1986.
 - (8) Agua dulce.

Fuente : Gabriel Bohorquez CONSULTORES UNIDOS.

CUADRO No. 34
CONSUMO INDUSTRIAL DE AGUA POR CIUDADES

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Municipio	Año	Consumo Facturado miles m ³	Suscriptores	Consumo por suscriptor	Consumo x total habitantes m ³ / año	lhd
Barranquilla	1982	8.693.0	653	13.312	8.37	22.92
Buga	1982	685.2	67	10.227	7.61	20.86
Medellín	1981	12.954.6	1025	12.638	7.27	19.92
Pereira	1982	1.620.3	194	8.352	7.01	19.20
Cali	1981	6.556.0	643	10.196	5.24	14.36
Bogotá	1981	17.104.0	2980	5.740	4.29	11.76
Cúcuta	1982	1.515.6	256	5.920	4.21	11.53
Cartagena	1982	1.380.6	117	11.800	3.48	9.53
Manizales	1982	772.1	126	6.128	3.37	9.24
Pasto	1982	514.4	114	4.512	3.14	8.59
Sogamoso	1982	143.3	3	47.776	1.91	5.24
Palmira	1981	301.4	86	3.504	1.72	4.72
Cartago	1982	145.7	95	1.533	1.67	4.59
Armenia	1982	259.4	243	1.067	1.62	4.44
Montería	1982	144.4	4	35.610	1.06	2.89
Bucaramanga	1982	419.0	372	1.126	0.98	2.67
Florencia	1982	55.3	6	9.216	0.79	2.16
Honda	1982	14.0	26	540	0.32	0.89
Valledupar	1982	19.9	45	443	0.14	0.37

Fuente: Encuesta MMP

C. INFORMACION PARA LOS BALANCES ACTUALES

Las estimaciones sobre consumos y demandas de agua para uso humano e industrial se aplica al nivel de 233 cuencas de tercer orden según la zonificación hidrográfica del Himat. Respecto al uso humano, los cálculos realizados para la alimentación de los balances se hicieron desde el punto de vista de la demanda potencial a partir de las condiciones actuales de consumo de la población servida. En cuanto al uso industrial se aplicó el consumo real en base a la información recopilada por los consultores que por supuesto no cubre la totalidad del consumo industrial de aguas en el país. En seguida se detallan los diversos pasos en la metodología de cuantificación del uso del agua para cada una de las cuencas.

1. Población

El documento base para el cálculo de la población actual, urbana y rural en cada cuenca es el preparado por el Departamento Nacional de Planeación en 1982^{1/}; se adoptan las cifras de la población actual de las 30 ciudades más importantes, de los departamentos y su respectiva población urbana y rural. Para el resto de municipios, la cabecera municipal y la población rural se proyectaron al momento

^{1/} DNP-UDS-DP, Dinámica demográfica y proyecciones de población del país, los territorios nacionales, el distrito especial de Bogotá, departamentos y las 30 principales ciudades; Septiembre 1982.

actual a partir de la población del censo de 1973 en forma tal que el conjunto de habitantes urbanos y rurales y el de las 30 ciudades se ajustarán, por departamento, a la población urbana y rural actual del documento DNP. Para la división de la población por cuencas, se asignó la cabecera municipal a la cuenca respectiva y la población rural proporcionalmente al área del municipio en cada cuenca.

2. Consumo urbano

A partir de la muestra nacional se derivó el siguiente modelo de consumo facturado de agua para su aplicación en todas las cabeceras municipales del país:

$$C = 34.68 Y^{0.872} T^{0.497}$$

en donde,

C : litros/habitante/día facturado por municipio

Y : ingreso medio per cápita por municipio según censo 1973 (en miles de pesos)

T : Temperatura media del municipio en °C.

La aplicación del modelo determina el consumo en litros/habitante/día en las cabeceras municipales, el cual se afectó según el promedio regional de pérdidas para obtener la producción total del agua. En las ciudades de la muestra se tomaron los consumos y pérdidas observados. La producción per cápita de agua así derivada se extendió en todos los casos a la población total de la cabecera municipal.

3. Consumo rural

Para los consumos rurales de agua se utilizó la misma metodología del INS para el cálculo de dotaciones con la asignación de 140 lhd para clima caliente; 120 lhd para clima medio y 80 lhd para clima frío. Los climas se determinaron según la temperatura media así.

Caliente	24 o +
medio	17 - 23
frío	16 o -

La cuantificación del consumo se hizo para la población total según la temperatura media del municipio.

4. Tasas de retorno del consumo humano

Una forma de medir la tasa de retorno se podría hacer mediante la cuantificación del caudal del alcantarillado en varias ciudades; estos estudios no se han hecho con precisión entre otros factores por la combinación y filtraciones entre los sistemas de acueducto, alcantarillado y colectores de aguas lluvias y agua corriente en las grandes ciudades. De estudios en otros países se conoce que la tasa de retorno superficial en las grandes ciudades se afecta fundamentalmente por el grado de aplicación de agua al riego de jardines. Los estudios hechos en Medellín y en Bogotá para la adecuación hidráulica y saneamiento del río Bogotá han adoptado tasas de retorno superficial entre el 73 y 85% de los caudales producidos en las plantas de tratamiento. En este estudio se adopta una tasa del 80% aplicable al consumo urbano y rural de agua.

5. Consumo industrial

La información sobre consumo industrial se obtuvo de varias fuentes. De la encuesta a las empresas de acueducto se cuantificó el consumo industrial de agua en las principales ciudades. La encuesta al sector industrial determinó el consumo para otro amplio grupo de empresas y la información del Inderena y la CVC para un tercer grupo. Los consumos se asignaron por cuenca según la ubicación geográfica de la respectiva empresa. Respecto a las tasas de retorno industrial se aplicó la observada en la Encuesta Industrial de Mejía Millán y Perry y en los documentos del Inderena y CVC encontrándose que la tasa por lo general fluctúa entre 90 y 100% del consumo. Para los consumos globales obtenidos en la Encuesta Municipal de Mejía Millán y Perry el consumo industrial se afectó por el nivel de pérdidas con tasas de retorno del 95%

6. Resultados

Los consumos actuales humano e industrial proyectados se presentan para cada una de las subcuencas de tercer orden en el Apéndice 2.

FORMULARIO SOBRE PRODUCCION Y CONSUMO URBANO DE AGUA POTABLE

Informaciones del año 1976 en adelante se pueden incluir; en las respuestas hay que especificar la unidad de medida y el año al cual se refiere la información. Los renglones para los cuales no se dispone de información se deben dejar en blanco.

1. Ciudad _____
2. Población estimada _____ año _____
3. Número de viviendas _____ año _____
4. Medidores instalados _____ año _____
5. Medidores en servicio _____ año _____
6. Capacidad del Acueducto _____ litros x seg.
7. Capacidad de la planta de tratamiento _____
litros x seg.
8. Es suficiente la capacidad actual del Acueducto para satisfacer las necesidades inmediatas de la ciudad ?

9. Producción de agua en el año _____ en m³ ó litros.
 Agua tratada _____
 Agua sin tratar _____
 Agua facturada _____
 Pérdida de agua _____
10. Hubo racionamiento de agua en el año en referencia ? _____
 En caso afirmativo estime en qué porcentaje _____

11. Consumo de agua en el año _____, en mts³ ó litros.

	Número de Suscriptores	Consumo
Residencial	_____	_____
Comercial	_____	_____
Industrial	_____	_____
Otros	_____	_____
T O T A L	_____	_____

12. Hay estimaciones recientes sobre el consumo de agua por persona ó por suscriptor según el nivel de ingreso ó según el estrato socio-económico ? _____ En caso afirmativo relacione la información enseguida.

13. Hay proyecciones sobre la demanda y la oferta futuras de agua en la ciudad ? _____ En caso afirmativo relacione la información enseguida.

14. Dispone la Empresa de un sistema avanzado de recopilación o archivo de información ? _____ En caso afirmativo descríballo a continuación.

FORMULARIO SOBRE CONSUMO DE AGUA EN EL SECTOR INDUSTRIAL

1. Nombre de la Empresa _____

2. Localización _____

3. Producción en unidades físicas (hasta los cinco principales productos).

	1977	1978	1979	1980	1981
1. _____	_____	_____	_____	_____	_____
2. _____	_____	_____	_____	_____	_____
3. _____	_____	_____	_____	_____	_____
4. _____	_____	_____	_____	_____	_____
5. _____	_____	_____	_____	_____	_____

4. Proyecciones de producciones o planes de expansión (en unidades físicas).

	1985	1990
1. _____	_____	_____
2. _____	_____	_____
3. _____	_____	_____
4. _____	_____	_____
5. _____	_____	_____

Continúa....

2.

5. Fuentes de suministro de agua.

- a) Acueducto _____
- b) Pozo subterráneo _____
- c) Bocatoma _____
- d) Otros _____

6. Consumo de agua en mts³ según fuente.

	1977	1978	1979	1980	1981
a)	_____	_____	_____	_____	_____
b)	_____	_____	_____	_____	_____
c)	_____	_____	_____	_____	_____
d)	_____	_____	_____	_____	_____
T O T A L	=====	=====	=====	=====	=====

7. Volumen de descarga de aguas utilizadas en mts³.

	1977	1978	1979	1980	1981
_____	_____	_____	_____	_____	_____

REMITASE A:

MEJIA MILLAN Y PERRY LTDA.
Apartado Aéreo No. 55418
BOGOTA

CONSUMO HUMANO E INDUSTRIAL DE AGUA POR CUENCAS (mts³/día)

Cuenca	Consumo Urbano	Consumo rural	Consumo Industr	Total	Retorno industr	Tasa de retorno Industr %
1101	688	1324		2012		
1102	1141	1704		2845		
1103	-	1293		1293		
1104	22454	32		22486		
1105	-	-		-		
1106	-	433		433		
1107	2706	3114		5820		
1108	124	627		751		
1109	-	456		456		
1110	213	583		796		
1111	10407	7098		17509		
1112	-	766		766		
1113	225	342		567		
1114	1785	1805		3590		
1115	715	-		715		
1201	18980	4306	400	23686	400	100
1202	8860	2666		11526		
1203	2673	5908		8581		
1204	5755	7901		13656		
1301	-	1116		1116		
1302	-	1198		1198		
1303	4694	574		5268		
1304	1766	3235		5001		
1305	-	1345		1345		
1306	-	3769		3769		
1307	66208	19974	475	86657	451	95
1308	-	12822		12822		
1309	73521	10442		83963		
1401	124203	10804	89275	224282	84397	95
1501	129717	4902	934	135553	841	90
1502	-	1246		1246		
1503	-	1632		1632		
1504	-	753		753		
1505	-	491		491		
1506	30692	6606		37298		
1507	3104	6009		9113		
1508	7497	4386		11883		
1601	141766	12465	5814	160045	5520	95

Cuenca	Consumo Urbano	Consumo rural	Consumo Industr	Total	Retorno Industr	Tasa de retorno industr %
1602	3217	11169		14386		
1603	2932	7449		10381		
1604	170	2956		3126		
1605	22481	6302		28783		
1606	-	2467		2467		
1607	-	1262		1262		
1608	-	1129		1129		
2101	7292	6005		13297		
2102	1847	1674		3521		
2103	2178	2735		4913		
2104	1849	2265		4114		
2105	5532	6718		12250		
2106	7552	3199		10751		
2107	-	390		390		
2108	1881	1150		3031		
2109	1131	401		1532		
2110	5707	1758		7465		
2111	59794	2725		62519		
2112	1128	1552		2680		
2113	6847	7345		14192		
2114	2004	1603		3607		
2115	1127	804		1931		
2116	2704	5356		8060		
2117	459	1020		1479		
2118	36204	4438		40642		
2119	17451	10111		27561		
2120	1074087	25318	590754	1690159	576038	98
2121	61323	4106		65429		
2122	644	1149		1793		
2123	2615	5039		7654		
2124	1922	2878		4800		
2125	30887	8672		39559		
2201	694	3258		3952		
2202	1649	1296		2945		
2203	-	-		-		
2204	-	1603		1603		
2205	4061	3287		7348		
2206	8881	5804		14685		
2207	534	4741		5275		
2208	6292	482		5774		

Continuación Apéndice 2

Cuenca	Consumo urbano	Consumo rural	Consumo Industr	Total	Retorno Industr	Tasa de retorno industr %
2301	9585	2875		12460		
2302	19223	2027	59	21250	56	95
2303	1260	392		1652		
2304	27937	1827		29764		
2305	6520	9694		16214		
2306	11895	17439		29334		
2307	15091	3832		18922		
2308	47381	23914		71295		
2309	15091	1124		16215		
2310	4441	3883		9324		
2311	5010	1380		6390		
2312	3314	17935		21249		
2313	-	295		295		
2314	47	5065		5112		
2315	67650	213	215542	283405	213375	99
2316	1125	113		1228		
2317	-	2228		2228		
2318	2196	1680		3876		
2319	145393	20265	1492	167150	1417	95
2320	3343	4082		7425		
2321	11923	4305		16228		
2401	119374	29964	10510	159848	9428	90
2402	8228	8189		16417		
2403	63716	33502	397045	494263	380493	96
2404	651	1413		2064		
2405	3354	5389		8743		
2406	456	1415		1871		
2501	6084	4604		10688		
2502	122650	85622		208272		
2601	781	1549		2330		
2602	62779	16222	42300	121301	42300	100
2603		2632		2632		
2604	8141	5483		13624		
2605	4813	2642		7455		
2606	2034	3164	7500	12698	7500	100
2607	70215	4751	202746	277712	200980	99
2608	499117	4457	135560	639134	131024	97
2609	37615	9348	143040	190003	132908	93
2610	62646	13788	94600	171034	88306	93

Continuación Apéndice 2

Cuenca	Consumo urbano	Consumo rural	Consumo Industr	Total	Retorno Industr	Tasa de retorno industr %
2611	18148	5873		24021		
2612	122158	14109	1542	137809	1465	95
2613	140123	10074	9089	159286	7948	87
2614	48258	8450		56708		
2615	95764	8156	4365	108285	3967	91
2616	14539	10567		25106		
2617	21988	16349		38337		
2618	14667	10067		24734		
2619	16842	8286		25128		
2620	11053	10217		21270		
2621	3300	4965		8265		
2622	5510	4776		10286		
2623	7368	8913		16281		
2624	950	2959		3909		
2625	1368	1115		2483		
2701	681873	27370	123428	832671	110217	89
2702	9350	4335		13685		
2703	7317	2496		9813		
2704		3490		3490		
2801	86945	6580	5599	99124	5599	100
2802	10896	6054		16950		
2803		5057		5057		
2804	15633	6507		22140		
2902	20120	10308		30428		
2903	59706	18237		77943		
2905	402946	10637	424746	838329	364183	86
2906	26638	16792		43430		
3203		653		653		
3204	125	27		152		
3205	732	2306		3038		
3207	9922	5565		15487		
3216		62		62		
3302		232		232		
3303		231		231		
3401		1877		1877		
3501	11772	1942		13714		
3502	10730	7485		18215		
3503	34985	3317		38302		
3504	1634	1419		3053		
3505	480	4670		5150		
3506	1582	2179		3761		
3507	8899	15022		23921		
3508	3124	5378		8502		

Continuación Apéndice 2

Cuenca	Consumo urbano	Consumo rural	Consumo Industr	Total	Retorno Industr	Tasa de retorno industr %
3510	1087	2624		3711		
3511	732	2201		2933		
3518	-	-		-		
3519	231	1576		1807		
3521	120	3456		3576		
3524		646		646		
3602		473		473		
3702	1365	5235		6600		
3703	99	3022		3121		
3705		18		18		
4301		101		101		
4401	96	1639		1735		
4402		127		127		
4403			196	196	186	95
4701		3031		3031		
4702		1077		1077		
5101		260		260		
5102	767	3747		4514		
5103	17193	1990		19183		
5104		523		523		
5201	3050	6459		9509		
5202	6108	14623		20731		
5203	3675	6167		9842		
5204	1610	11223		12833		
5205	67564	16224	1944	85732	1847	95
5206	1511	3963		5474		
5207	82	247		329		
5208	396	2637		3033		
5209	480	1733		2213		
5301	743	2164		2907		
5302		589		589		
5303	60	475		535		
5304	2243	1525		3768		
5305	378	972		1350		
5306		1354		1354		
5307	178	6714		6892		
5308		2368		2368		
5309		1149		1149		
5310		148		148		
5311	69180	5366	42	74588	42	100

Continuación Apéndice 2

Cuenca	Consumo Urbano	Consumo rural	Consumo Industr	Total	Retorno Industr	Tasa de retorno industr %
5401	4420	5023		9443		
5402	1782	3416		5198		
5403	1872	6937		8809		
5404	130	615		745		
5405		1273		1273		
5406		652		652		
5407	728	1372		2100		
5408		509		509		
5409		339		339		
5501	-	985		985		
5502	301	1019		1320		
5601	987	1877		2864		

INDICE - ANEXO D2

		PAGINA
1.	Beneficios de la provisión de agua potable	D.2.1
2.	Factores que inciden en la asignación de prioridades	D.2.3
2.1.	Costos de la producción del servicio	D.2.3
2.2.	Calidad del servicio	D.2.5
2.3.	Grado de necesidad	D.2.6
2.4.	Desarrollo rural y polos de crecimiento	D.2.7
2.5.	Participación de la comunidad	D.2.7
2.6.	Restricciones presupuestales a nivel nacional y regional	D.2.8
3.	Análisis de algunos medios de fijación de prioridades	D.2.9
3.1.	Modelo OPS - BID	D.2.9
3.2.	Modelo del plan Nacional de abastecimiento y saneamiento en España	D.2.10
3.3.	Metodología propuesta por el Departamento Nacional de Planeación	D.2.14
3.3.1.	Prioridades de promedios a nivel rural	D.2.14
3.3.2.	Prioridades de promedios a nivel urbano	D.2.18
4.	El modelo propuesto	D.2.24
	 Cuadro No. 1 Coeficientes de modelo de - priorización propuesto por el Departamento Nacional de Planeación	 D.2.16

ANEXO D.2

D.2 PRIORIZACION DE INVERSIONES EN AGUA POTABLE

1. BENEFICIOS DE LA PROVISION DE AGUA POTABLE

Los beneficios principales asociados con la provisión de agua potable a pequeñas comunidades se refieren a su impacto sobre la salud pública. Estos beneficios en alguna medida se manifestarán en incrementos en la productividad en la región; incrementos que se pueden ver reforzados por el ahorro de tiempo y esfuerzo en la obtención de agua de fuentes convencionales, así como por el impacto directo del suministro de agua potable en permitir incrementos en la producción de algunas actividades agroindustriales. Finalmente, la provisión de agua potable en pequeñas poblaciones presenta otras externalidades vinculadas con el desarrollo social en dichas áreas.

No obstante, como se demuestra en la sección sobre estimación de beneficios de agua potable del capítulo sobre pautas de evaluación de proyectos, la mayor parte de estos beneficios resulta muy difícil de cuantificar; además, a diferencia de lo que sucede en otros casos, la disponibilidad a pagar por parte de los usuarios, medido como el área bajo la curva de demanda de los mismos, no resulta apropiada como una medida de estos beneficios debido a la presencia de las externalidades asociadas con la salud pública, de las limitaciones de ingreso de estas poblaciones y la inadecuada información sobre los

efectos del consumo de agua potable sobre la salud de las familias. En consecuencia, como se discute en la sección mencionada del capítulo sobre evaluación de proyectos es necesario utilizar otro tipo de indicadores para la medición de beneficios, tales como la población que será atendida con niveles mínimos, en términos de cantidad y calidad, y el grado de "necesidad" de esta población. Se recomienda leer la sección a que se hace referencia.

A continuación, en el numeral II se analizan algunos factores que inciden normalmente en la asignación de prioridades en este sector; en el numeral III se analizan algunos modelos de asignación de prioridades propuestos con anterioridad a este estudio y en el IV se presenta la especificación del modelo aquí propuesto.

2. FACTORES QUE INCIDEN EN LA ASIGNACION DE PRIORIDADES

2.1 COSTOS DE LA PRODUCCION DEL SERVICIO

Como se ha discutido en la introducción, se supone que bajo condiciones semejantes de "necesidad" del servicio se valorará en la misma forma el beneficio percibido por diferentes grupos poblacionales, independientemente de su capacidad de pago. En esta forma, se tienen explícitamente en cuenta los aspectos de redistribución del ingreso puesto que los beneficios asociados con un proyecto específico de suministro de agua no dependen de la disposición a pagar de los usuarios sino de su "grado de necesidad".

Si, para comenzar el análisis, se supone que todas las poblaciones o núcleos rurales experimentan la misma necesidad, el problema de asignación de prioridades se resolverá seleccionando aquellos proyectos que en conjunto proporcionan una mayor cobertura, dada la disponibilidad de reursos (restricción presupuestal) existente. A continuación se discuten algunas de las implicaciones generales de este criterio de maximización de cobertura.

En primer lugar, existe evidencia sobre la existencia de economías de escala en los servicios de abastecimiento de agua, tanto para países en desarrollo ^{1/} y, especialmente en cuanto a los gastos recurrentes y algunos costos de inversión, en particular las instalaciones de distribución

^{1/} Ver Saunders y Warford, Capítulo IV.

Lo anterior cláramente favorecería una estrategia de las "poblaciones más grandes primero". Sin embargo, existen algunos rubros de costos con un comportamiento menos sistemático que pueden modificar sustancialmente la anterior estrategia, debido fundamentalmente a las limitaciones impuestas por las fuentes de agua de la localidad. Así, la distancia en cada caso a la fuente de agua, si se trata de aguas subterráneas o superficiales ^{1/}, etc. pueden ser los factores determinantes para la selección de los proyectos con criterios de minimización de costos (maximización de cobertura). Lo anterior hace que en muchos casos la mayor cobertura se obtenga extendiendo el servicio a poblaciones pequeñas y zonas rurales.

Otro aspecto importante es el que tiene que ver con posibles complementareidades entre los proyectos, cuando estos se agrupan en el espacio. En estos casos, además de poder capturar economías de escala en algunas inversiones, si se diseñan sistemas regionales, se obtienen ahorros importantes en los gastos de promoción, explotación, mantenimiento, transporte de equipos, etc.

Finalmente, dentro de los aspectos de costos que influyen en la selección del programa de inversiones debe darse una especial consideración al horizonte de diseño empleado para una proyección de población y consumos unitarios dados. Al respecto, como ha sido demostrado por Manne ^{2/},

^{1/} Normalmente las fuentes de agua subterránea presentan menores costos de tratamiento y no requieren obras de regulación, mostrando por consiguiente menores costos per-cápita frente a las fuentes de agua superficial.

^{2/} Manne, A., Investments for Capacity expansion: Size, location and time phasing.

el período óptimo de diseño depende de la tasa de descuento y de las economías de escala. Así, para una tasa de descuento del 10%, el período óptimo de diseño podrá ser de alrededor de 5 años si la elasticidad de las economías de escala es de aproximadamente 0.8, y de doce a trece años si tal elasticidad es del orden de 0.5.

2.2 CALIDAD DEL SERVICIO

Parámetros fundamentales para el diseño del programa de inversiones en agua potable son los que definen las metas de calidad del servicio y que básicamente consisten en la calidad y cantidad del agua consumida. Al respecto, habría que señalar únicamente que tales metas deben definirse teniendo en mente que deben satisfacerse unos niveles mínimos de calidad y cantidad, a fin de que el programa sea exitoso. La definición de tales metas debe ser objeto de estudio independiente y para tal fin deben consultarse los estudios existentes sobre las relaciones disponibilidad de agua vs. impacto sobre la salud pública, las recomendaciones de la OMS y otras organizaciones internacionales, etc., lo mismo que las prácticas seguidas en el país en los años anteriores.

En relación con este tema, un aspecto que en principio, sería conveniente considerar en la selección del programa de inversiones es el que se refiere a incrementos en el nivel de servicio, por encima de los mínimos definidos previamente. Nótese que en este caso el beneficio del incremento debe compararse contra el costo de oportunidad de los recursos utilizados para proveerlo, que en el caso de que tales recursos pertenezcan al presupuesto limitado de inversiones podría ser muy alto ya que su uso alternativo sería satisfacer necesidades de

alto valor social en otras localidades, Por esta razón, se propone que la prestación del servicio se lleve a estándares mayores que los mínimos únicamente si la comunidad beneficiada asume totalmente los costos incrementales de la mejora.

2.3 GRADO DE NECESIDAD

Una política de maximización de cobertura, como se discutió en 2.1, sería perfectamente viable siempre y cuando el "grado de necesidad" de las diferentes comunidades fuera equivalente ^{1/}. Ahora bien, es completamente claro que debido a diferencias regionales en cuanto a las condiciones generales de salubridad de las zonas objeto del programa, o en cuanto a las alternativas para la obtención del agua sin las inversiones del programa, (en relación con la cantidad y la calidad) el enfoque de maximización de cobertura no es necesariamente el que reporta unos mayores beneficios sociales. El problema se hace más complejo si se nota que, como regla general, los núcleos más necesitados serán los que requieren inversiones mayores, debido a que la distancia de las fuentes es mayor, o requieren un tratamiento mayor del agua, ó requieren cantidades per cápita mayores debido a su clima, etc.

^{1/} En ese caso podría omitirse por completo el aspecto de beneficios y utilizar un enfoque costo-efectividad.

2.4 DESARROLLO RURAL Y POLOS DE CRECIMIENTO

Si bien el objetivo central de una política de suministro de agua potable en pequeñas poblaciones y zonas rurales es satisfacer las necesidades de los consumidores, pueden existir externalidades importantes asociadas con la actividad económica regional. En ese sentido, Saunder y Warford plantean que "si el desarrollo económico es un objetivo, las limitadas inversiones en abastecimiento de agua deberán encauzarse hacia zonas o regiones seleccionadas, que ofrezcan buenas posibilidades y tengan una población relativamente concentrada, e ir acompañadas de inversiones complementarias en otros servicios públicos". Además, un argumento de peso en relación con este tema es que si a través de la política de inversiones en éste y otros servicios públicos se induce una cierta concentración espacial de la población, se obtendrán economías de escala en los costos de tales servicios.

2.5 PARTICIPACION DE LA COMUNIDAD

La participación de los beneficiarios del programa, a través de aportes - en dinero o trabajo- al costo de la inversión y posteriormente a los gastos de explotación y mantenimiento, es fundamental por lo menos en dos sentidos: Por una parte, entre mayores sean los aportes propios al costo de las inversiones podrá lograrse una mayor extensión del servicio con los mismos recursos limitados, y por otra, es una garantía de éxito puesto que una comunidad que ha comprometido recursos propios en la implementación de su proyecto de agua potable utilizará y mantendrá adecuadamente el sistema. Podría

decirse que el grado en que la comunidad esté dispuesta a participar -en la medida de sus posibilidades- es un reflejo de su grado de desarrollo sociocultural, el cual es fundamento de su éxito.

2.6 RESTRICCIONES PRESUPUESTALES A NIVEL NACIONAL Y REGIONAL

Son estas restricciones las que hacen necesario establecer un sistema de prioridades en la ejecución de las inversiones. Si ellas no existieran, todos los proyectos identificados serían ejecutados de inmediato puesto que se está suponiendo que los beneficios sociales de poseer un servicio mínimo de suministro de agua potable son en general mayores que sus costos. Hecha esta aclaración, que es la que en el fondo hace necesario jerarquizar en forma racional las inversiones, es pertinente señalar que existen ciertas restricciones de carácter político que hacen necesario el que a nivel regional se asignen ciertas cantidades mínimas del presupuesto total, si se desea un nivel razonable de aceptación política de las decisiones adoptadas en forma centralizada.

3. ANALISIS DE ALGUNOS MODELOS DE FIJACION DE PRIORIDADES

A continuación se resumen algunos modelos utilizados para la fijación de prioridades en inversiones de agua potable.

3.1 MODELO OPS-BID ^{1/}

La fórmula, ideada por la OPS y aplicada experimentalmente por el BID es:

$$I = 100 \cdot \frac{P}{C - A} \cdot r \cdot k.$$

donde:

- I : índice de prioridad (los valores mayores indican una mayor prioridad).
- P : población de diseño (la que se espera tenga la población en 20 años)
- C : costo global (excluidas las conexiones domiciliarias, si las hay)
- A : aportes de la comunidad
- r : índice de disponibilidad física (calculado como la relación entre el caudal existente en el punto de captación y las necesidades del vigésimo año).
- k : índice de concentración de viviendas (proporción del total dentro de los 50 metros de las conducciones principales).

^{1/} Saunders y Warford, pág. 117.

Este es un indicador, que fundamentalmente utiliza el criterio de maximización de cobertura puesto que $P/C-A$ es el inverso de la inversión per-cápita a cargo del organismo central (INSFOPAL ó INAS en nuestro caso). El índice r podría interpretarse como un indicador de "costos futuros" en la medida en que r grande implica una relativa facilidad para ampliaciones futuras (dentro de 20 años) una vez se cope la capacidad actual, más sin embargo puede distorsionar sustancialmente las decisiones ya que, como señala Saunders y Warford, "no parece ser lo indicado atribuir más prioridad a una fuente que sobrepasa en 750% sus necesidades previstas para dentro de 20 años que a otra fuente que sólo sobrepase en 350% esas necesidades". Finalmente, k puede interpretarse como un índice del posible éxito del proyecto ya que, entre más cerca se hallen las viviendas a la red principal, más baratas serán las conexiones domiciliarias. Este índice parece aplicable principalmente a acueductos rurales.

En general, la anterior metodología de priorización parece bastante simplista y no incluye la mayoría de los factores que se desearía tener en cuenta en la priorización de los proyectos y que fueron discutidos en 2.

3.2 MODELO DEL PLAN NACIONAL DE ABASTECIMIENTO Y SANEAMIENTO EN ESPAÑA ^{1/}

De acuerdo con esta metodología, se calcula un índice de prioridad a partir del cálculo de los siguientes valores.

^{1/} Citado en Azpúrna y Gabaldón, pág. 274.

a) Grado de Satisfacción:

Se define como:

$$S = \frac{1}{3} \left(\frac{da}{do} + 2 \frac{da}{d1} \right)$$

donde:

da : dotación actual ($m^3/año$)

do : dotación de que debería disponerse actualmente

d1 : dotación de que deberá disponerse en el horizonte del plan (en 20 años).

Para valorar la prioridad se propone

$$C_1 = 100 (1-S)$$

Este coeficiente varía entre los valores de 0 y 100 que corresponden respectivamente a los núcleos que tienen resuelto su abastecimiento hasta el horizonte del Plan y a los que carecen por completo de abastecimiento.

b) Estado Sanitario:

"El grado de adecuación higiénico-sanitaria de las instalaciones puede ser medido por un coeficiente H comprendido entre 0 y 1 cuya evaluación se lleve a cabo por las autoridades sanitarias, con arreglo a una escala establecida".

Se supone como coeficiente para valorar la prioridad:

$$C_2 = 25 (1-H)$$

Cuyo valor sumado al obtenido para C_1 , da una medida de la mayor o menor necesidad de realizar obras.

c) Instalaciones comunes a varios núcleos:

Se refiere este criterio a una prima que se otorga a aquellos sistemas que abastecen a la vez varias comunidades, por las ventajas que ello implica desde el punto de vista técnico. Se asigna en estos casos un coeficiente $C_3 = 2,0$.

d) Mancomunidad de explotación:

Desde el punto de vista administrativo es ventajoso la creación de mancomunidades de explotación y aquellos sistemas que ofrecen esta posibilidad son premiados con una cierta prima, al aplicar un coeficiente $C_4 = 1,5$.

e) Aportación propia:

Para tomar en cuenta las ventajas que se derivan de la posibilidad de obtener fondos provenientes de la iniciativa local pública o particular se proponen coeficientes que van desde 0,2 hasta 10 cuando las aportaciones varían desde un 10 por ciento del presupuesto hasta un 90 por ciento.

f) Obras que complementan otras existentes. Para tomar en cuenta las obras que representan un menor costo unitario para complementar las existentes se propone la aplicación de un coeficiente $C_7 = 30 \times \frac{1}{P}$ con un límite máximo de 10, siendo P el cociente de dividir el presupuesto de las obras por el volumen en m^3 / año, en que se complementan las posibilidades reales de la instalación de los niveles del Plan.

El coeficiente total será el producto de la suma de los coeficientes de los dos primeros criterios por los que correspondan por cada uno de los otros, resultando un número que estará comprendido entre 0 y 25.000. Con arreglo al valor de este coeficiente se establece el orden de prioridad.

Con respecto a este modelo pueden hacerse las siguientes observaciones:

a) Dentro de la metodología no aparecen explícitamente los costos de los proyectos. Como ya se ha discutido, si bien la maximización de cobertura (minimización del costo per-cápita) no puede ser el único criterio de priorización, si es, posiblemente, el punto de partida para la maximización de los beneficios sociales del programa.

b) En relación con el punto anterior, aspectos como las instalaciones comunes a varios núcleos y a la mancomunidad de explotación deben incluirse en la medida en que puedan representar ahorros en costos (economías de escala). Los factores que allí se proponen pueden ser exagerados en general, y pueden producir distorsiones considerables en casos particulares.

c) La forma como se valoran los aportes financieros de la comunidad parece desproporcionada y sin ninguna lógica. Así para aportes 9 veces mayores en porcentaje (90% vs. 10%) se propone una ponderación 50 veces mayor (10 vs. 0.2), lo que no tiene razón de ser a la luz de la asignación de recursos.

En resumen, la metodología anterior se basa en criterios muy arbitrarios. Lo que debe buscarse, bajo el supuesto de que este problema de asignación de recursos es un problema con objetivos múltiples no conmensurables claramente entre sí, es una metodología en la cual la función objetivo tenga una interpretación lógica y, donde los compromisos (trade offs) entre objetivos sean claros para los encargados de tomar decisiones.

3.3 METODOLOGIA PROPUESTA POR EL DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACION

En el país se han realizado algunos esfuerzos tendientes a ordenar las inversiones en acueductos y alcantarillados. En 1975 INSFOPAL publicó el documento "Metodología para la formulación del Plan Nacional de Acueductos y alcantarillados (PLANAL", el cual tenía por objeto establecer los montos de inversión en el sector, durante el período 1976-1986, para diferentes niveles globales de satisfacción de la demanda. Debe quedar claro que este estudio no establecía criterios de selección o asignación de prioridades, constituyendo simplemente, un ejercicio en la determinación de las inversiones requeridas por el subsector.

Posteriormente, se utilizaron algunos indicadores parciales para la asignación de prioridades y, finalmente, en Enero de 1983, el DNP publicó el documento "Metodología propuesta para priorización", mediante el cual se plantean mecanismos para la priorización de los proyectos lo mismo que para la repartición presupuestal entre las regiones. A continuación se resume y analiza la metodología planteada, tanto para proyectos urbanos como rurales.

3.3.1 PRIORIDADES DE PROYECTO A NIVEL RURAL

Para la priorización de proyectos a nivel rural nucleado se proponen índices para acueducto y alcantarillado, y el índice total será la suma de los dos anteriores. La metodología de cálculo se presenta a continuación.

a) Acueducto

$$I_{AC} = P \frac{A}{C} (D + S) \frac{K}{100}$$

- I_{AC} = índice prioridad acueducto
 P = población (No. total de habitantes de la comunidad)
 A = aporte comunidad (valor pesos)
 C = costo del acueducto (valor en pesos de la inversión total)
 D = distancia a la fuente (ver Cuadro 1)
 S = tipo de sistema a emplear (ver Cuadro 1)
 K = cobertura de viviendas que atenderá el sistema (%)

b) Alcantarillado

Localidades donde exista acueducto

$$I_{ALC.} = (1 - \frac{K}{100}) P \frac{A}{C}$$

- I_{ALC} = índice prioridad alcantarillado
 A = aporte comunidad
 C = costo total alcantarillado
 P = población total
 K = cobertura de viviendas que tienen solución a la eliminación de excretas.

c) Orden de prioridad

$$I_T = I_{AC} + I_{ALC.}$$

Acerca de las fórmulas anteriores pueden hacerse las siguientes observaciones:

CUADRO 1

COEFICIENTES DE MODELO DE PRIORIZACION PROPUESTO POR
DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACION

<u>Distancia a la fuente</u>	<u>Sistema a emplear</u>	<u>Valor asignado</u>
1.500	Gravedad sin tratamiento	8.0
1.200 - 1.500	Gravedad con cloración	7.0
900 - 1.000	Bombeo sin tratamiento	6.0
600 - 900	Bombeo con cloración	5.0
300 - 600	Gravedad con tratamiento convencional	4.0
300	Bombeo con tratamiento convencional	3.0

i) Para el índice de acuecucto (I_{AC}) el término $\frac{PK}{100C}$ sería un estimativo del número de personas atendidas por peso invertido, cifra que, claramente, equivale al criterio de maximización de cobertura. Al multiplicar, sin embargo, por los aportes de la comunidad (A) se estaría dando una gran prioridad a poblaciones grandes ya que en tales casos A tendría un valor relativamente grande independientemente del porcentaje de la inversión total que sea sufragado mediante tales aportes. Otra forma de ver esta parte de la fórmula ($\frac{KP}{100} \cdot \frac{A}{C}$) es como el producto de la población servida con el proyecto por la fracción del costo total que es sufragada por la comunidad. Vista de esa forma, la expresión no tiene ninguna interpretación económica, y una propuesta concreta al respecto es que tiene mucho más sentido la expresión de la OPS en la cual la parte pertinente se escribe como $\frac{PK}{100(C-A)}$. Esta parte del índice, entonces, cuantificaría el número de personas atendidas por peso de inversión proveniente del presupuesto global.

ii) En cuanto a los términos D y S que aparecen en la fórmula también pueden hacerse algunas consideraciones. En cuanto a D, se asigna un mayor valor en tanto sea mayor la distancia a la fuente, lo cual tendría una justificación puesto que a mayores distancias es mayor el esfuerzo y por consiguiente la necesidad. Debe, sin embargo, precisarse que esta distancia debe referirse a la fuente alternativa o fuente sin el proyecto, que es la que indica el grado de necesidad. En cuanto a S, hay algunas contradicciones en su interpretación. Como puede observarse en el Cuadro 1, se asignan mayores valores a los sistemas más simples de conducción y tratamiento (gravedad sin tratamiento) y menores valores a los sistemas más complejos (bombeo con tratamiento convencional). En cuanto a los sistemas de

conducción (bombeo vs. gravedad) no hay razón alguna para su ponderación, puesto que su incidencia se dá a través de los costos, los cuales se tienen en cuenta al cuantificar la eficiencia de la inversión. En cuanto al sistema de tratamiento cabría una observación similar en lo que se refiere a sus costos, pero visto desde el punto de vista de las necesidades de los usuarios la ponderación se ha planteado en el sentido incorrecto. En efecto, un sistema de tratamiento convencional es más costoso que no hacer ningún tratamiento, pero eso ya se ha considerado en el costo per capita; por otra parte, un sitio para el cual se requiera una planta de tratamiento convencional tendrá más necesidad desde el punto de vista de la calidad del agua que se está consumiendo que uno para el cual no se requiera ningún tratamiento.

iii) Para el índice de alcantarillado cabrían las mismas observaciones hechas en i), vale decir, tendría más sentido si se expresa como número de habitantes servidos por peso de inversión del presupuesto global.

3.3.2 PRIORIDADES DE PROYECTOS URBANOS

Para proyectos urbanos se propone un índice de prioridad (IP) calculado como:

$$IP = I_1 + I_2 + I_3 + I_4$$

donde:

	<u>Valor máximo</u>
I_1 : importancia demográfica	50
I_2 : importancia regional	50
I_3 : estado o déficit del servicio	100
I_4 : eficiencia de la inversión	100

Calculados los índices anteriores, para acueducto y alcantarillado en cada localidad, se propone repartir el presupuesto total entre los dos servicios en proporción a la suma de los índices de los servicios en todas las localidades y repartir esos presupuestos entre regiones en proporción a la suma de los índices regionales. Posteriormente, para escoger las localidades en cada región se hará en orden de prioridad según el valor de los índices hasta agotar el presupuesto regional.

A continuación se presentan los índices propuestos por el DNP y se hace una discusión de los mismos. (La metodología de cálculo de los índices se transcribe textualmente del documento del DNP.)

a) Indicador de importancia demográfica (I_1).
Está expresado en términos del número de habitantes.

El indicador I_1 se expresa como:

$$I_1 i = 50 \times \frac{P_i}{P \text{ máx.}}$$

donde:

P_i : población urbana en la localidad i del grupo.
 $P \text{ máx}$: población de la localidad más populosa de las incluidas en el grupo (que tenga la localidad).

b) Indicador de la importancia regional (I_2).

Su valor se determina de acuerdo a la clasificación dentro de las cinco categorías definidas por el Departamento Nacional de Planeación para establecer la importancia regional de los distintos centros urbanos y siguiendo la tabla de valores siguiente.

<u>Categoría de la</u> <u>localidad</u>	<u>V/asignado</u>
- Centro Regional (C.R.)	50
- Punto Terminal (P.T.)	40
- Centro Nodal (C.N.)	30
- Centro Local (C.L.)	20
- Centro Menor (C.M.)	10
- Sin imp. regional	00

c) Indicador del déficit existente en el servicio de acueducto o alcantarillado (I_3).

El indicador se utilizará para ponderar el déficit de un servicio, o el grado de insatisfacción de la demanda, se define así:

$$I_{3i} = 100 - NSD_i$$

donde:

NSD_i = nivel de satisfacción de la demanda de un servicio en la localidad; este término expresa el estado de servicio de acueducto en función de la disponibilidad, la cantidad y la calidad del agua suministrada por cada habitante y el estado del servicio de alcantarillado en función de la

disponibilidad, el grado de tratamiento de las aguas negras y la capacidad de fuente receptora,

$$NSD_1 = \frac{USER_i}{\text{Población urbana}} \times 100$$

$USER_i$ = Usuarios satisfechos equivalentes, o población equivalente a la que podría darse un servicio adecuado con las instalaciones existentes en la localidad.

d) Indicador de la eficiencia de la inversión (I_4)
Este indicador se basa en el hecho de que en la mayoría de las localidades existen instalaciones no utilizadas debido a la carencia de recursos para ampliar redes o conducciones, o a que éstas instalaciones fueron sobrediseñadas.

Con el fin de ponderar este criterio, y para no correr el riesgo de valorar nuevamente la población, el indicador se expresa en función del mayor o menor número de habitantes que se servirá por cada habitante que requiere inversión. Es decir, es un concepto equivalente de eficiencia.

El indicador está expresado como:

$$I_4 = \frac{EE_i}{EE_{\max}} \times 100$$

donde:

EE_i = eficiencia equivalente en la localidad, y
 EE_{\max} = eficiencia equivalente máxima de las localidades consideradas.

$$EE_i = \frac{\text{Nuevos Usuarios}}{\text{Población que requiere inversión}}$$

$$EE_i = \frac{USER_t - USER}{USER_t - USEP}$$

$USER_t$ = Usuarios que se espera servir adecuadamente en el año t.

$USEP$ = Usuarios satisfechos equivalentes potenciales o población que se serviría adecuadamente si todas las instalaciones existentes en los sistemas de acueducto y alcantarillado, se hubieran diseñado para servir a un número igual de personas.

Son varias las observaciones que pueden efectuarse sobre la metodología anterior.

i) Lo primero que se observa es que en la metodología no se tienen en cuenta aspectos económicos de ninguna naturaleza. En realidad, el criterio de eficiencia propuesto puede ser muy ineficiente desde un punto de vista económico, como puede observarse a través del siguiente ejemplo: Una localidad para la cual el proyecto propuesto busque una cobertura total del servicio tendría una eficiencia equivalente en la localidad de uno y logrará un índice muy alto de prioridad. Sin embargo, tal cobertura con el proyecto podría lograrse a un costo muy alto comparado con otros proyectos, lo que haría que desde el punto de vista de los beneficios alcanzados se tuviera una asignación ineficiente de los recursos.

En su documento, Planeación afirma que "la eficiencia se puede definir como el mayor o menor número de habitantes que se serviría con cada peso invertido; sin embargo, al utilizar esta definición, incidiría nuevamente el aspecto demográfico, puesto que el costo por habitante depende directamente de la población que tenga la localidad".

La cita anterior sugiere que al existir posibles economías de escala en la inversión se favorecería a las localidades grandes puesto que ellas tenderían a mostrar menores costos per cápita por tal razón. Al respecto la observación es que, en primer lugar, no es totalmente claro que a mayor población menor costo per cápita, debido básicamente a la dotación diferente de recursos de las poblaciones. Pero aún si así fuera, el criterio de eficiencia económica indicaría que, en igualdad de condiciones en cuanto a necesidad, debería buscarse la mayor cobertura posible por peso invertido. En la propuesta de los consultores al respecto, el criterio de eficiencia económica se incluirá como aspecto central del modelo de asignación, siguiendo las consideraciones anteriores.

ii) Con respecto al indicador de necesidades ó déficit existente (I_3), el cual se define como $100 - NSD$ (donde NSD es el nivel de satisfacción de la demanda) también consideran los consultores que pueden hacerse algunas observaciones sobre el sentido de su definición y la pertinencia de su uso dentro del modelo propuesto. En efecto, NSF puede interpretarse como un índice ponderado de cobertura equivalente que no hace referencia al nivel de necesidad de quienes no disponen del servicio en la condición sin proyecto, que es precisamente lo que se desearía incluir en un

4. EL MODELO PROPUESTO

1) Horizonte de planeamiento. Se parte de un horizonte de planeamiento T. Se tomará T = 2000 (y quizá también T = 1990 para chequear resultados).

2) Variables. Para cada localidad i, se calculará:

i) P_T^i = población proyectada en T que no tendría el servicio en ausencia del proyecto.

ii) N^i = índice de 'necesidad'.

donde: $N^i = H^i$: estado 'sanitario' de P_T^i (medido por índices de mortalidad y morbilidad)

ó $N^i = f(d_A^i, S_A^i)$

donde: d_A^i = distancia a fuente alternativa Δ (la que usa P_T^i).

S_A^i = tipo de tratamiento requerido por A.

iii) $C_{MIN}(P_T^i)$ = valor presente de los costos de inversión y operación para proveer los estándares mínimos de cantidad y calidad a P_T^i .

iv) $C(P_T^i)$ = valor presente de los costos de inversión y operación de diseño.

v) AP^i = Valor presente de los aportes de la comunidad.

índice de esta naturaleza. Yendo un poco más allá, compárense las poblaciones A y B con niveles de satisfacción de la demanda $NSD_A = 50$ $NSD_B = 0$. La metodología asignaría una mayor prioridad a la población B, más sin embargo, podría ocurrir que la necesidad real del 50% de pobladores de A sin servicio fuera mucho mayor que la de las personas en B, debido a condiciones locales específicas como la calidad de las aguas sin tratamiento, condiciones climáticas altamente desfavorables, etc. De acuerdo con lo anterior consideran los consultores que ese tipo de diferencias en el nivel del servicio son las que deberían ser consideradas en la priorización de los proyectos reflejando las diferencias en necesidad real de los usuarios.

iii) En cuanto a los índices de importancia demográfica y regional podría decirse que hasta cierto punto cuantifican aspectos semejantes, en la medida en que los dos aspectos (población e importancia regional) tienden a estar altamente correlacionados. Consideran los consultores, sin embargo, que no es la importancia poblacional en sí misma, sino la importancia regional de la población y la posibilidad de capturar externalidades positivas asociadas con la inversión en servicio en esa localidad, la que importa desde el punto de vista de la priorización de las inversiones. El tamaño de la población podría influir, indirectamente, en los aspectos de costos, a través de las economías de escala, ó en la definición de la necesidad, si se tiene en cuenta que los problemas de salud pública relacionados con la escasez o deficiente calidad del agua potable pueden ser mucho más severos en una población grande que en una pequeña. Se propone, por consiguiente, que sobre estos aspectos se tenga únicamente en cuenta lo relacionado

con la importancia regional -posteriormente se discutirá la pertinencia de incluir este aspecto ya que el efecto relevante de la población ya estaría considerado en los otros indicadores.

En los puntos anteriores se ha revisado la metodología propuesta por el DNP y se han señalado algunas inconsistencias en cuanto al significado de los índices propuestos. Ahora bien, aunque el problema de la correcta medición de los costos fue resuelto, y los demás índices midieran los correspondientes objetivos en unidades que tuvieran un sentido claro, quedaría el problema de hacer conmensurables tales índices, problema central de la evaluación de proyectos con objetivos múltiples donde los factores de ponderación de los objetivos representan precios relativos para su comparación. La definición de tales factores es un problema complejo, que definitivamente no puede realizarse a priori y que puede requerir de varias iteraciones entre el modelo de planificación o selección de proyectos y la toma de decisiones.

vi) ΔCONS^i = consumo per-cápita en exceso de la 'cantidad mínima'

vii) $\beta(\Delta\text{CONS}^i)$ = valor de los excedentes de consumidor relacionados con ΔCONS^i .

3) Formulación del problema

Se trata, entonces de:

$$\text{-1-MAX}_{\langle di \rangle} \sum_i di \{ \gamma(N^i, T^i) \cdot p_T^i + \beta(\Delta\text{CONS}^i) p_T^i \}$$

$$\text{-2-St.} \quad \sum_i di \{ C(p_T^i) - AP^i \} \leq \overline{RP}$$

$T^i = \text{temperatura o clima}$

$$\text{-3-} \quad di = 0,1$$

γ es una función monótonamente creciente en N^i y T^i , que habría de ser especificada posteriormente.

El valor de las variables debe cumplir dos condiciones adicionales.

$$\text{a) -4-} \quad \text{MAX}_i \beta(\Delta\text{CONS}^i) < \text{MIN}_i \gamma(N^i, T^i)$$

o sea, en ningún caso se valorarán más los excedentes de consumidor asociados con consumos superiores al mínimo, que la satisfacción de este último. Inclusive, en un caso extremo, puede despreciarse $\beta(\Delta\text{CONS}^i)$ y limitar la función objetivo a:

$$\text{MAX}_{\langle di \rangle} \sum_i di \gamma(N^i, T^i) \cdot p_T^i$$

$$\text{b) -5-} \quad AP^i \geq C(p_T^i) - C_{\text{MIN}}(p_T^i)$$

Esta condición expresa que cualquier consumo por encima del mínimo debe ser sufragado enteramente por la comunidad.

Conviene hacer explícito todo lo que implica esta formulación. En primer lugar, se está deliberadamente abandonando el criterio usual de medición de beneficios sociales (la disponibilidad a pagar del beneficiario), excepto por lo que hace a β (ΔCONS^i). Ello se debe a que la validez de ese criterio depende de que no haya externalidades importantes en el consumo ni una distribución de ingreso muy desigual que afecte en mucho la valoración del bien bajo examen. Ni una ni otra condición se cumplen en este caso. Se trata, de una parte, de un bien básico cuyo consumo mínimo no debería en ningún caso estar restringido por falta de capacidad de pago y, de otra parte, de un bien cuyo consumo tiene incidencias complejas de determinar sobre la salud propia y la de los demás.

Así, se considera que el beneficio social de un estándar mínimo (en cantidad y calidad) de consumo de agua potable, excede en mucho cualquier costo económico y no debe depender de la capacidad de pago de los beneficiarios. La única explicación, entonces, para no proceder de inmediato al cubrimiento universal radicaría precisamente en restricciones administrativas o presupuestales del Estado, o en decisiones políticas que -por buenas o malas razones- limitan la asignación a este campo en favor de otros (educación, defensa, carreteras). Por ello se trataría también de maximizar el beneficio social sujeto a esta restricción y por ello no se contempla el costo de AP^i (que se supone siempre inferior a los beneficios) sino solo el

'costo de oportunidad' del presupuesto nacional escaso; o, dicho de otra manera, se busca maximizar la cobertura -ponderada- que permite el uso pleno del recurso limitante: las partidas del presupuesto nacional asignadas a este campo.

Por las mismas razones, la valoración en -1- debería depender principalmente del impacto del consumo sobre la salud de la población servida. Como ello es difícil de determinar, se puede usar como proxy $\gamma(H^i)$ donde H^i es el estado sanitario o de salubridad de esa población; se supondría así que cualesquiera que fuesen las causas de ese estado una mayor provisión de agua potable tendría efectos socialmente mas importantes en poblaciones con un estado sanitario o de salubridad mas bajo y con condiciones climáticas mas adversas. En caso de no disponer de H^i , se usaría un índice compuesto por S^i (la calidad de la fuente de agua hoy usada) y d^i (la distancia a esa fuente, como proxy -inverso- por la frecuencia y cantidad de uso de su agua; i.e., se supone que entre más lejos la fuente alterna, menor es el consumo actual de agua).

4) La solución del modelo equivale -si no hay indivisibilidades importantes; es decir, si ningún proyecto individual es 'grande' frente a la restricción presupuestal global -a ordenar los proyectos según el índice:

$$-6- \quad I^i = \frac{\{\gamma(N^i, T^i) + \beta(\Delta\text{CONS}^i)\} P_T^i}{C(P_T^i) - AP^i}$$

e irlos ejecutando en ese orden hasta que se llegue a la restricción presupuestal.

Si se desprecia $\beta (\Delta \text{CONS}^i)$, -6- puede escribirse como:

$$\text{-6a- } I^i = \frac{\gamma(N^i, T^i) \cdot P_T^i}{C(P_T^i) - AP^i}$$

Nótese que este índice es similar al del modelo OPS-BID excepto porque se sustituye el término (r.k)- que no resulta muy apropiado; ver ANEXO- por el índice de 'necesidad' (que valora la importancia social de dar cobertura a P_T^i) adicionado, si es del caso, por el valor de los excedentes de consumidor sobre los consumos en exceso de los mínimos.

5) El uso del índice de prioridad para diseño y evaluación de proyectos.

Cuando existan alternativas de diseño para un mismo proyecto, debe escogerse aquella que maximice -6- sujeto a -5-.

Vale decir, el problema de diseño equivale a escoger (para cada población i) la alternativa j^* que maximiza

$$\text{MAX}_{\langle j \rangle} \frac{\{\gamma(N^{ij}, T^i) P_T^{ij} + \beta (\Delta \text{CONS}^{ij}) \cdot P_T^{ij}\}}{C^j(P_T^{ij}) - AP^{ij}}$$

$$\text{St. } AP^{ij} \geq C_T^j(P_T^{ij}) - C_{\text{MIN}}^j(P_T^{ij})$$

Este deberá ser el criterio que se utilice en estudios de prefactibilidad y factibilidad que sería consistente con el modelo de priorización de inversiones (Ver capítulo)

6. Condiciones regionales. La solución anterior podría implicar una distribución regional que no fuese políticamente aceptables.

En tal caso, conviene ordenar los proyectos en cada región k según I^i y decidir cuáles se sacrifican para incluir algunos adicionales en las regiones sobrepresentadas. Alternativamente, podría determinarse desde un principio que debe haber un número mínimo de proyectos por región (se escogerían en cada región según I^i , $i \in \{i\}_k$ y luego se seguiría el orden de I^i -sin distinguir la región- de los sobrantes hasta agotar el presupuesto global); o un gasto mínimo de presupuesto por región (en cuyo caso se escogería según I^i , $i \in \{i\}_k$, hasta superar la asignación mínima por región y luego se seguiría el orden de I^i -sin distinguir la región- de los sobrantes hasta agotar el presupuesto global).

En este último caso sería conveniente que el gasto mínimo por departamento fuese aproximadamente proporcional a las necesidades no satisfechas, i.e.

$$P_{MIN}^K = \alpha \cdot \sum_{i \in \{i\}_k} \gamma(N^i, T^i) P_T^i$$

Así , en la solución se enfatizarían los aspectos sociales y redistributivos, pues habría énfasis en proyectos con grandes beneficios sociales, pero de costos altos o cuyas

comunidades no pueden contribuir en mucho a su financiamiento.

7. Proyectos Interdependientes. La posible existencia de economías externas en la realización conjunta de varios proyectos podría llevar a reformular el modelo de priorización. Sin embargo, ello haría muy compleja su solución, lo que, dado el carácter muy eventual de esta posibilidad, no parece justificarse. Se sugiere, en estos casos calcular el valor I^i en dos situaciones extremas (el proyecto se hace solo o en conjunto con aquellos que le permitirían aprovechar economías externas) y tomar una decisión al respecto con base en la inspección del ordenamiento global resultante y el valor de la función objetivo en uno y otro caso.