

---

# AGUA, DESARROLLO Y MEDIO AMBIENTE EN AMERICA LATINA

---

1366/32



---

# **AGUA, DESARROLLO Y MEDIO AMBIENTE EN AMERICA LATINA**

---

## **INFORME**



NACIONES UNIDAS COMISION ECONOMICA PARA AMERICA LATINA PROGRAMA  
DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE

Santiago de Chile, Julio de 1980.

#### DESCARGO DE RESPONSABILIDAD

Las denominaciones empleadas en esta publicación y la forma en que aparecen presentados los datos que contiene no implican, de parte de la Secretaría de las Naciones Unidas, juicio alguno sobre la condición jurídica de ninguno de los países o territorios citados o de sus autoridades, ni respecto de la delimitación de sus fronteras o límites.

El hecho de que en los mapas de esta publicación figuren determinadas fronteras no significa que sean sancionadas ni aceptadas por las Naciones Unidas.

### *Nota de agradecimiento*

La realización del proyecto sobre Agua, Desarrollo y Medio Ambiente en América Latina —más conocido como el proyecto ADEMA— abarcó diversas actividades. Tras conversaciones preliminares se reunió un grupo de expertos para diseñar el proyecto; luego se prepararon nueve estudios de casos en seis países; se convocó un seminario para examinar la marcha del proyecto, en que participaron los consultores principales de los estudios de casos y otros tres especialistas invitados, y un simposio final para analizar los resultados obtenidos, al que asistieron 36 profesionales de ocho países latinoamericanos y representantes de siete instituciones internacionales; se llevó a cabo un curso de cinco semanas de duración sobre manejo del agua y del medio ambiente, iniciativa conjunta del Centro Internacional de Formación en Ciencias Ambientales para Países de Habla Española (CIFCA) y el Instituto Latinoamericano de Planificación Económica y Social (ILPES), al que asistieron 19 profesionales procedentes de 12 países latinoamericanos; se prestó colaboración a la Comisión Técnica Mixta (CTM), encargada del proyecto del embalse Salto Grande sobre el río Uruguay, en la evaluación de programas y estudios vinculados al manejo ambiental; y por último, se preparó este informe final.

A través de todas estas actividades el personal de la Comisión Económica para América Latina (CEPAL) y el del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) encargados del proyecto, entraron en contacto, dentro y fuera de la región, con numerosos especialistas en una vasta gama de aspectos de la planificación y uso de los recursos hídricos y en la investigación y evaluación de los aspectos ambientales de su manejo, recibiendo en todo momento amplia cooperación y apoyo. José Roberto A.P. do Rego Monteiro (Associação Interamericana de Engenharia Sanitária e Ambiental (AIDIS), Río de Janeiro), Iván Restrepo (Centro de Ecodesarrollo (CECODES), Ciudad de México), Guillermo Risopatrón (Instituto de Recursos Naturales (IREN), Santiago de Chile), Arturo Vásquez Avila (Instituto Nacional de Ciencia y Técnica Hídricas (INCYTH), Buenos Aires), y Juan Antonio Zapata (International Food Policy Research Institute).

Cabe mencionar también la valiosa contribución que hicieron numerosas instituciones nacionales al proporcionar la información necesaria, sea a través de material bibliográfico para los estudios de casos que figuran en la segunda parte, o bien facilitando los servicios de personas para su recopilación o elaboración. Asimismo, hicieron aportes directos la CTM, el CECODES, la FEEMA y el Instituto Nacional de Economía, Legislación y Administración del Agua (INELA) del INCYTH de Argentina.

Entre los organismos de las Naciones Unidas que colaboraron, merecen mención especial el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) con sede en Lima, la Oficina Regional para América Latina del PNUMA y el Centro de Recursos Naturales, Energía y Transportes, con sede en Nueva York.

Los consultores que tuvieron a su cargo la preparación de los estudios de casos, brindaron una ayuda inapreciable durante todo el proyecto. También hicieron aportes valiosos los consultores Juan Antonio Poblete (Centro de Planeamiento, Universidad de Chile) y Arturo Palma (Departamento de Economía Agraria, Universidad Católica de Chile), que estuvieron directamente vinculados a la ejecución del proyecto durante un largo período; Gordon Conway y Enda O'Connell (*Imperial College of Science and Technology*, Londres), Joshua Dickinson (Universidad de Florida); Asit Biswas (*International Institute for Applied Systems Analysis*) y Allen Kneese (Universidad de Nueva México), que se desempeñaron como consultores técnicos e hicieron sugerencias que fueron de gran utilidad para la preparación de este informe.

Además, merece especial reconocimiento la contribución de los siguientes participantes en talleres, seminarios y simposios: Carlos Adlerstein (Comisión Técnica Mixta de Salto Grande (CTM), Buenos Aires), Víctor Coelho (Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente (FEEMA), Río de Janeiro), Adolfo Cutinella (Organización de los Estados Americanos), Francisco Granadino (Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa (CEL), San Salvador), Fernán Ibáñez (Banco Mundial), Gilbert Levine (Universidad de Cornell), Eugenio Maffuci y Alberto Sojit (Banco Interamericano de Desarrollo).

## INDICE

|                                                                                         | Pág. |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|------|
| PROLOGO .....                                                                           | 1    |
| 1. Las relaciones entre el manejo del agua y el medio ambiente en América Latina .....  | 1    |
| 2. Algunos conceptos fundamentales .....                                                | 3    |
| 3. Algunos aspectos del manejo del agua .....                                           | 4    |
| a) Los sistemas hídricos regidos por centros urbanos ..                                 | 4    |
| b) Los sistemas hídricos regidos por estructuras de regulación .....                    | 5    |
| 4. Los aspectos ambientales en la planificación y manejo de los recursos hídricos ..... | 6    |
| a) Cuestiones institucionales .....                                                     | 6    |
| b) Cuestiones analíticas y de información .....                                         | 7    |
| 5. Cuestiones pendientes .....                                                          | 9    |
| INTRODUCCION .....                                                                      | 13   |
| 1. La génesis del proyecto .....                                                        | 13   |
| 2. El marco analítico .....                                                             | 14   |
| a) Algunos conceptos fundamentales .....                                                | 15   |
| b) El enfoque del estudio, sus interrogantes claves y su alcance .....                  | 18   |
| c) La organización y realización del estudio .....                                      | 21   |
| 3. La estructura del informe .....                                                      | 25   |

**Primera Parte**  
**ANALISIS GENERAL**

**Capítulo I**

|                                                                                                                            |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>MODALIDADES Y TENDENCIAS DE LAS RELACIONES ENTRE EL AGUA, EL DESARROLLO Y EL MEDIO AMBIENTE EN AMERICA LATINA</b> ..... | <b>29</b> |
| 1. Las características del abastecimiento de agua .....                                                                    | 31        |
| a) El clima .....                                                                                                          | 31        |
| b) Los sistemas hidrológicos de América Latina .....                                                                       | 32        |
| 2. Las modalidades de uso del agua .....                                                                                   | 35        |
| a) El agua, la calidad del medio ambiente y la expansión urbana .....                                                      | 38        |
| b) La regulación de caudales .....                                                                                         | 40        |
| c) El agua y la salud .....                                                                                                | 47        |
| 3. El manejo del agua y la calidad del medio ambiente .....                                                                | 48        |
| a) Los sistemas de manejo del agua en América Latina .....                                                                 | 49        |
| b) El organismo encargado del manejo de las cuencas hidrográficas .....                                                    | 51        |
| c) Consideraciones ambientales en torno al manejo del agua .....                                                           | 52        |

**Capítulo II**

|                                                                      |           |
|----------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>LOS CASOS ESTUDIADOS DE MANEJO DE LOS RECURSOS HIDRICOS</b> ..... | <b>55</b> |
| 1. Sistemas regidos por obras de regulación .....                    | 56        |
| a) El proyecto La Chontalpa .....                                    | 56        |
| b) El proyecto San Lorenzo .....                                     | 62        |
| c) El proyecto Guri .....                                            | 66        |
| d) El proyecto Aconcagua .....                                       | 70        |
| e) El proyecto Caño Mánamo .....                                     | 74        |
| 2. Sistemas regidos por complejos urbanos .....                      | 78        |
| a) Bogotá .....                                                      | 78        |
| b) Santiago .....                                                    | 85        |
| c) Río de Janeiro .....                                              | 91        |
| d) São Paulo .....                                                   | 97        |

### Capítulo III

|                                                                                                      |            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>VISION GLOBAL DE LOS PROBLEMAS QUE CONFRONTA EL MANEJO DE LOS RECURSOS HIDRICOS .....</b>         | <b>103</b> |
| 1. Clasificación de los problemas .....                                                              | 104        |
| a) Los sistemas regidos por complejos urbanos frente a los regidos por obras de regulación .....     | 104        |
| b) Sistemas regidos por obras de regulación .....                                                    | 105        |
| c) Los conflictos físicos y las consecuencias económicas y socioculturales .....                     | 105        |
| d) Cuestiones ambientales y no ambientales relacionadas con el manejo de los recursos hídricos ..... | 106        |
| 2. Problemas relacionados con el manejo de los recursos hídricos .....                               | 107        |
| a) La situación urbana .....                                                                         | 107        |
| b) Sistemas de regulación de caudales .....                                                          | 111        |
| 3. La dimensión institucional .....                                                                  | 113        |
| 4. Observaciones finales .....                                                                       | 117        |

### Capítulo IV

|                                                                                                                                           |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>RELACIONES ENTRE EL MANEJO DE LOS RECURSOS HIDRICOS Y EL MEDIO AMBIENTE: LOS FACTORES INSTITUCIONALES Y EL MARCO DE DECISION .....</b> | <b>119</b> |
| 1. Los objetivos de política .....                                                                                                        | 119        |
| a) La planificación .....                                                                                                                 | 119        |
| b) Los objetivos nacionales e institucionales .....                                                                                       | 121        |
| c) El problema del desarrollo .....                                                                                                       | 123        |
| 2. Los mecanismos de control .....                                                                                                        | 130        |
| a) Normas sobre la calidad del agua .....                                                                                                 | 131        |
| b) Otras normas para la protección del medio ambiente ...                                                                                 | 132        |
| 3. La estructura institucional .....                                                                                                      | 136        |
| a) La coordinación .....                                                                                                                  | 137        |
| b) La descentralización y la participación de los beneficiarios                                                                           | 140        |
| 4. Síntesis .....                                                                                                                         | 142        |

## Capítulo V

|                                                                                                                                                 |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| RELACIONES ENTRE EL MANEJO DE LOS RECURSOS HIDRICOS Y EL MEDIO AMBIENTE: LOS FACTORES SOCIOECONOMICOS Y BIOFISICOS Y EL MARCO ANALITICO . . . . | 145 |
| 1. Los límites del sistema . . . . .                                                                                                            | 146 |
| a) Los límites físicos . . . . .                                                                                                                | 146 |
| b) Los límites funcionales del sistema . . . . .                                                                                                | 149 |
| c) Las interrelaciones de los límites . . . . .                                                                                                 | 149 |
| 2. Consideraciones socioeconómicas . . . . .                                                                                                    | 152 |
| a) La evaluación de proyectos . . . . .                                                                                                         | 152 |
| b) La incertidumbre, los riesgos y las economías y deseconomías externas . . . . .                                                              | 153 |
| 3. Los factores ecológicos . . . . .                                                                                                            | 155 |
| a) Los efectos en cadena . . . . .                                                                                                              | 156 |
| b) Irreversibilidad y exclusión de opciones . . . . .                                                                                           | 159 |
| 4. La evaluación de la tecnología . . . . .                                                                                                     | 162 |
| a) Las medidas correlativas y los principios técnicos "fijos". . . . .                                                                          | 163 |
| b) La adaptación de tecnologías . . . . .                                                                                                       | 165 |
| 5. Los aspectos metodológicos . . . . .                                                                                                         | 166 |
| a) La información . . . . .                                                                                                                     | 167 |
| b) Los aspectos interdisciplinarios . . . . .                                                                                                   | 168 |
| c) El análisis integrador . . . . .                                                                                                             | 169 |
| 6. Observaciones finales . . . . .                                                                                                              | 172 |

## Capítulo VI

|                                                                                                 |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| RECAPITULACION, RECOMENDACIONES Y OBSERVACIONES . . . . .                                       | 175 |
| 1. El alcance y los propósitos . . . . .                                                        | 175 |
| 2. El replanteamiento de las perspectivas . . . . .                                             | 177 |
| a) El desarrollo y el medio ambiente . . . . .                                                  | 177 |
| b) El manejo del agua y sus dimensiones ambientales . . . . .                                   | 178 |
| 3. Los temas centrales . . . . .                                                                | 179 |
| a) La necesidad de integración . . . . .                                                        | 179 |
| b) Necesidad de tener una perspectiva más amplia de los problemas del manejo del agua . . . . . | 180 |
| c) La necesidad de descentralización y de mayor participación local . . . . .                   | 182 |

|                                                                                                        |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4. Fortalecimiento del proceso de manejo del agua con vistas a incorporar la dimensión ambiental ..... | 183 |
| 5. Las repercusiones en el personal y su capacitación .....                                            | 185 |
| 6. El papel de la cooperación internacional .....                                                      | 188 |
| 7. Asuntos pendientes .....                                                                            | 191 |

## Segunda Parte

### ESTUDIOS DE CASOS DE MANEJO DE LOS RECURSOS HIDRICOS

|                    |     |
|--------------------|-----|
| INTRODUCCION ..... | 195 |
|--------------------|-----|

#### Capítulo VII

|                                                                                                                                                                                              |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| MODIFICACION DE UN AMBIENTE DESERTICO MEDIANTE EL RIEGO: EL PROYECTO SAN LORENZO, PERU, por Arturo Cornejo T., Humberto Yap S., Carlos López Ocaña, Antonio Brack E. y Wilmer Iglesias ..... | 199 |
| 1. Descripción general .....                                                                                                                                                                 | 199 |
| 2. El proyecto San Lorenzo .....                                                                                                                                                             | 200 |
| 3. Definición del sistema integrado Chira-Piura-San Lorenzo ...                                                                                                                              | 206 |
| 4. Efectos del agua en el ambiente árido de San Lorenzo .....                                                                                                                                | 208 |
| 5. La degradación de las aguas y la salinización de los suelos de San Lorenzo y el valle del río Piura .....                                                                                 | 212 |
| 6. Incremento de la superficie regada, tenencia de la tierra y agricultura en San Lorenzo .....                                                                                              | 217 |
| 7. Conclusiones y recomendaciones .....                                                                                                                                                      | 222 |

#### Capítulo VIII

|                                                                                                                                                                 |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| CONFLICTOS POTENCIALES EN LA UTILIZACION DE TIERRAS Y AGUAS EN UNA CUENCA TROPICAL: EL PROYECTO HIDROELECTRICO GURI, VENEZUELA, por Jorge Rabino-<br>vich ..... | 229 |
| 1. Localización y descripción general del sistema estudiado ...                                                                                                 | 229 |

|                                         |     |
|-----------------------------------------|-----|
| a) El clima .....                       | 230 |
| b) Suelos y vegetación .....            | 230 |
| c) El sistema .....                     | 231 |
| 2. El propósito del estudio .....       | 231 |
| 3. La metodología .....                 | 233 |
| 4. Conclusiones y recomendaciones ..... | 244 |

## Capítulo IX

|                                                                                                                                                     |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>MODIFICACION DE UN ECOSISTEMA TROPICAL: EL PROYECTO DE CONTROL DE CRECIDAS Y DRENAJE LA CHONTALPA, MEXICO, por Rosario Casco de Avilés</b> ..... | 247 |
| Introducción .....                                                                                                                                  | 247 |
| <b>I. PROGRAMA DE DESARROLLO DEL SISTEMA GRIJALVA-USUMACINTA</b> .....                                                                              | 250 |
| 1. La infraestructura de regulación del agua .....                                                                                                  | 253 |
| 2. La infraestructura socioeconómica .....                                                                                                          | 255 |
| 3. El desarrollo agrícola .....                                                                                                                     | 256 |
| 4. Los recursos financieros .....                                                                                                                   | 257 |
| <b>II. EL SISTEMA ADMINISTRATIVO</b> .....                                                                                                          | 257 |
| <b>III. LAS CONSECUENCIAS AMBIENTALES</b> .....                                                                                                     | 263 |
| 1. Los cambios en el medio físico .....                                                                                                             | 264 |
| 2. Los cambios ocurridos a consecuencia del manejo del medio ambiente transformado .....                                                            | 268 |
| 3. Las consecuencias sociales .....                                                                                                                 | 273 |
| <b>IV. CONCLUSIONES</b> .....                                                                                                                       | 274 |

## Capítulo X

|                                                                                                                                                                            |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>PREVENCION DE CRECIDAS EN EL DELTA DEL ORINOCO Y SUS EFECTOS AMBIENTALES: EL PROYECTO CAÑO MANAMO, VENEZUELA, por Eduardo Buróz Castillo y Juan Guevara Benzo</b> ..... | 277 |
| Introducción .....                                                                                                                                                         | 277 |
| <b>I. DESCRIPCION DEL SISTEMA</b> .....                                                                                                                                    | 278 |
| 1. El delta .....                                                                                                                                                          | 278 |
| a) Aspectos biofísicos .....                                                                                                                                               | 278 |
| b) Aspectos socioeconómicos .....                                                                                                                                          | 284 |

|                                                                                                                                   |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 2. La isla de Guara .....                                                                                                         | 284 |
| a) Aspectos biofísicos .....                                                                                                      | 284 |
| b) Aspectos socioeconómicos .....                                                                                                 | 286 |
| II. EVALUACION DE LAS CONSECUENCIAS ECOLOGICAS<br>Y SOCIOECONOMICAS DE LAS OBRAS DE PROTEC-<br>CION EN EL DELTA DEL ORINOCO ..... | 287 |
| 1. Causales y etapas de la ejecución de las obras de protec-<br>ción .....                                                        | 287 |
| 2. Las condiciones agrícolas de la zona protegida antes y<br>después de las obras de regulación .....                             | 287 |
| 3. Los efectos sociales del proyecto en la región deltaica ..                                                                     | 293 |
| 4. Los efectos ambientales .....                                                                                                  | 294 |
| III. ADMINISTRACION DEL SISTEMA E INCORPORACION<br>DE LA DIMENSION ECOLOGICA EN LOS PROBLEMAS<br>DE TOMA DE DECISIONES .....      | 298 |
| IV. CONCLUSIONES .....                                                                                                            | 300 |

## Capítulo XI

|                                                                                                                                                                     |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| • MANEJO DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS EN LA BAHIA<br>DE GUANABARA, BRASIL, por Víctor Monteiro Barbosa Co-<br>elho y María Regina Monteiro de Barros da Fonseca ..... | 303 |
| 1. Descripción general del sistema estudiado .....                                                                                                                  | 303 |
| 2. El objeto y la metodología del estudio .....                                                                                                                     | 308 |
| 3. Beneficios asociados al mejoramiento de la calidad de las<br>aguas, costos de la prevención de la contaminación y fuentes<br>de financiamiento .....             | 318 |
| 4. Administración integrada del sistema .....                                                                                                                       | 320 |
| 5. Conclusiones .....                                                                                                                                               | 321 |

## Capítulo XII

|                                                                                                                                         |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| LA CONTAMINACION DEL RIO BOGOTA, COLOMBIA: AL-<br>TERNATIVAS PARA SU MANEJO, por Jaime Saldarriaga Sanin<br>y Germán García Durán ..... | 327 |
| 1. Descripción general del sistema estudiado .....                                                                                      | 327 |
| a) El sistema actual .....                                                                                                              | 327 |
| b) El sistema futuro .....                                                                                                              | 332 |
| 2. Análisis de la contaminación .....                                                                                                   | 337 |

|    |                                                         |     |
|----|---------------------------------------------------------|-----|
| a) | La contaminación actual en la subcuenca alta . . . . .  | 337 |
| b) | La contaminación actual en la subcuenca media . . . . . | 338 |
| c) | La contaminación actual en la subcuenca baja . . . . .  | 338 |
| 3. | El objeto y la metodología del estudio . . . . .        | 339 |
| 4. | Conclusiones y recomendaciones . . . . .                | 348 |

### Capítulo XIII

|                                                                                                                                            |                                                                                                    |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>INTENSIFICACION DEL USO DE LAS AGUAS EN EL RIO MAIPO, CHILE, por Luis Court Moock, Hernán Baeza Sommers y René Gómez Díaz . . . . .</b> |                                                                                                    | <b>351</b> |
|                                                                                                                                            | Introducción . . . . .                                                                             | 351        |
| 1.                                                                                                                                         | Los recursos hídricos disponibles . . . . .                                                        | 353        |
| 2.                                                                                                                                         | La demanda de recursos hidráulicos . . . . .                                                       | 354        |
| a)                                                                                                                                         | El agua potable . . . . .                                                                          | 354        |
| b)                                                                                                                                         | El regadío . . . . .                                                                               | 355        |
| c)                                                                                                                                         | La hidroelectricidad . . . . .                                                                     | 356        |
| d)                                                                                                                                         | El uso industrial . . . . .                                                                        | 357        |
| 3.                                                                                                                                         | Principales efectos sobre el medio ambiente . . . . .                                              | 357        |
| a)                                                                                                                                         | Calidad de las aguas según las distintas fuentes de abastecimiento . . . . .                       | 357        |
| b)                                                                                                                                         | El incremento de las extensiones de secano . . . . .                                               | 360        |
| c)                                                                                                                                         | El saneamiento urbano de Santiago . . . . .                                                        | 360        |
| d)                                                                                                                                         | La contaminación de los cauces naturales . . . . .                                                 | 361        |
| e)                                                                                                                                         | La reutilización de las aguas negras . . . . .                                                     | 362        |
| 4.                                                                                                                                         | Posibles soluciones a los problemas que plantea el aprovechamiento del agua en la cuenca . . . . . | 362        |
| a)                                                                                                                                         | Soluciones técnicas . . . . .                                                                      | 363        |
| b)                                                                                                                                         | Costos y beneficios . . . . .                                                                      | 364        |
| 5.                                                                                                                                         | La administración del agua . . . . .                                                               | 366        |
| 6.                                                                                                                                         | Conclusiones y recomendaciones . . . . .                                                           | 367        |

### Capítulo XIV

|                                                                                                                                          |                        |            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|------------|
| <b>PLANTEAMIENTOS ALTERNATIVOS PARA EL MANEJO DE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL GRAN SÃO PAULO, BRASIL, por Roberto Max Hermann . . . . .</b> |                        | <b>371</b> |
|                                                                                                                                          | Introducción . . . . . | 371        |

|    |                                                                            |     |
|----|----------------------------------------------------------------------------|-----|
| 1. | El sistema de recursos hídricos .....                                      | 372 |
| a) | La configuración del sistema .....                                         | 372 |
| b) | La oferta de bienes y servicios del sector hídrico .....                   | 375 |
| c) | La demanda de bienes y servicios del sector hídrico ....                   | 377 |
| d) | Balance entre la oferta y la demanda: prioridades en la atención .....     | 377 |
| 2. | Los efectos sobre el medio ambiente del sistema de recursos hídricos ..... | 379 |
| a) | Efectos ambientales permanentes .....                                      | 379 |
| b) | El análisis de sistemas como metodología de la planificación .....         | 379 |
| c) | Las principales soluciones estructurales consideradas ....                 | 380 |
| d) | Un programa de investigación destinado a establecer objetivos .....        | 382 |
| 3. | Conclusiones .....                                                         | 386 |

## Capítulo XV

|                                                                                           |                                                  |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|------------|
| <b>DESARROLLO REGIONAL Y TRASTORNOS AMBIENTALES EN EL VALLE DEL ACONCAGUA-CHILE .....</b> |                                                  | <b>389</b> |
| <b>Introducción .....</b>                                                                 |                                                  | <b>389</b> |
| 1.                                                                                        | El medio ambiente .....                          | 390        |
| a)                                                                                        | El clima .....                                   | 392        |
| b)                                                                                        | El agua .....                                    | 392        |
| c)                                                                                        | Los suelos .....                                 | 398        |
| d)                                                                                        | Los ecosistemas naturales .....                  | 398        |
| 2.                                                                                        | La ocupación humana .....                        | 399        |
| a)                                                                                        | Las actividades productivas .....                | 399        |
| b)                                                                                        | Los efectos en el ambiente físico .....          | 402        |
| 3.                                                                                        | La estrategia regional de desarrollo .....       | 405        |
| a)                                                                                        | La política de desarrollo regional .....         | 406        |
| b)                                                                                        | Política de protección del medio ambiente .....  | 407        |
| c)                                                                                        | La V Región .....                                | 407        |
| d)                                                                                        | Sistema urbanoespacial del valle .....           | 408        |
| e)                                                                                        | La estructura económica .....                    | 408        |
| f)                                                                                        | El marco administrativo .....                    | 409        |
| g)                                                                                        | La administración de los recursos hídricos ..... | 411        |
| 4.                                                                                        | Conclusiones .....                               | 413        |

## Anexo A

|                                                                                                                                |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ALGUNOS CRITERIOS ANALITICOS PARA INVESTIGAR Y<br>EVALUAR LAS RELACIONES ENTRE EL MANEJO DEL<br>AGUA Y EL MEDIO AMBIENTE ..... | 417 |
| 1. El marco económico para formular dimensiones ambientales<br>en el manejo del agua .....                                     | 419 |
| 2. Evaluación de criterios reguladores para preservar la calidad<br>ambiental.....                                             | 426 |
| 3. Evaluación de proyectos, evaluación de los efectos ambien-<br>tales y modelos .....                                         | 429 |
| a) La evaluación de proyectos .....                                                                                            | 429 |
| b) Evaluación de los efectos ambientales .....                                                                                 | 430 |
| c) Los modelos .....                                                                                                           | 431 |

## Anexo B

|                                                                 |     |
|-----------------------------------------------------------------|-----|
| EXTRACTOS DE LOS ACUERDOS CORRESPONDIENTES AL<br>PROYECTO ..... | 441 |
| 1. Objetivos .....                                              | 441 |
| a) Objetivo de largo plazo .....                                | 441 |
| b) Objetivos inmediatos .....                                   | 441 |
| 2. Descripción del proyecto .....                               | 442 |
| a) Enfoque general .....                                        | 442 |
| b) Marco inicial conceptual .....                               | 442 |
| c) Criterios de selección de los estudios de casos .....        | 443 |
| d) Evaluación del trabajo y difusión de los resultados .....    | 443 |

## PROLOGO

Dada su extensión, muchos acogerán con agrado una síntesis de los rasgos analíticos y conclusiones fundamentales de este informe. El prólogo que sigue reúne los aspectos principales del estudio, dejando al lector la tarea de consultar el grueso del documento si desea averiguar pormenores sobre las conclusiones y análisis de los casos de manejo del agua estudiados en América Latina.

### *1. Las relaciones entre el manejo del agua y el medio ambiente en América Latina*

El crecimiento de la población y las necesidades materiales del desarrollo imponen automáticamente mayores exigencias a los sistemas hídricos. La hipótesis en que se basa el estudio es que la intensificación acelerada del uso de los recursos hídricos y afines en la región obligará de ahora en adelante a los encargados de su manejo a tener muy presente las consecuencias sociales y ecológicas que tendrán a largo plazo sus decisiones. El corolario de esto es que los cambios que experimentan las relaciones entre el uso de los recursos hídricos, el desarrollo y el medio ambiente exigen que se modifiquen los conceptos y criterios de planificación y manejo del agua.

Es inevitable que el manejo del agua se ocupe cada vez más de su interacción con los sectores de la energía, industria, silvicultura y agricultura, en especial de los trastornos ambientales que se producen cuando se modifican los sistemas acuáticos, manifestados en términos sociales por los efectos a largo plazo sobre la productividad de sistemas naturales y artificiales, y de los efectos de las alteraciones de otros sectores sobre los sistemas hídricos. La finalidad de esta investigación es examinar la naturaleza de esas relaciones dentro del marco de la evolución económica y social contemporánea de América Latina a fin de contar con una base más sólida para fijar normas que permitan incorporar los aspectos ambientales en la planificación y manejo de los recursos hídricos y conexos.

¿Qué hace que las relaciones entre el manejo de los recursos hídricos y el medio ambiente en América Latina sean distintas de las que se dan en otras regiones del mundo? Evidentemente hay en ella muchas características que condicionan la adopción de decisiones en el uso del agua y que, en diversos grados, la diferencian de otras regiones: etapa de desarrollo, dotación de recursos, cultura, sistemas políticos e ideologías, etc. De éstas, cinco se consideran particularmente importantes. Primero, la magnitud de los recursos hídricos y de tierra y la distribución geográfica de su aprovechamiento. Hay un enorme potencial de estos recursos en el interior del continente, concentrado en unos pocos sistemas fluviales. Las cuencas de los ríos Amazonas, Alto Paraná,<sup>1</sup> Orinoco y Grijalva-Usumacinta representan 450/o de la superficie de América Latina y 700/o del escurrimiento, pero sólo albergan a 100/o de la población. En cambio la población, lo mismo que los aprovechamientos hidráulicos, tiende a concentrarse en zonas de precipitaciones relativamente escasas, en que el caudal de los ríos es pequeño y de régimen muy irregular, situadas a lo largo de la costa del Pacífico,<sup>2</sup> el nordeste del Brasil y las altiplanicies de México, América Central y los Andes. Estas zonas comprenden 200/o de la superficie total y poseen menos del 50/o de los recursos hídricos, pero albergan al 600/o de la población.

La segunda y tercera características, muy vinculadas a la primera en cuanto a su efecto sobre el manejo del agua y el medio ambiente, son:

i) Las elevadas tasas de crecimiento demográfico y de la producción que se han registrado en el último tiempo; según las proyecciones, entre los años 1975 y 2000 la producción se cuadruplicaría, en tanto que la población casi se duplicaría; y

ii) La tendencia a concentrar el desarrollo en zonas que ya están bastante desarrolladas y, en particular, a concentrar la población y la actividad económica en enormes complejos metropolitanos. Estas tendencias ejercerán presiones considerables sobre los recursos hídricos y conexos en algunas zonas.

Al mismo tiempo, la vasta reserva disponible de recursos naturales ha llevado a algunos de los que tienen la responsabilidad del desarrollo a una cierta complacencia ante el posible deterioro ambiental, siendo su lema desarrollar ahora y corregir después los daños, si es que se manifiestan, y en tal caso sólo cuando parezca indispensable dada la escasez de recursos financieros. Sin embargo, una cuarta característica de la región —su capacidad técnica, financiera y política para introducir con rapidez tecnología moderna en gran escala con el fin de modificar los ambientes acuático y terrestre— sumada a la segunda, sugiere que no hay muchas razones para mostrarse complaciente respecto al deterioro ambiental. La intensidad de las alteraciones en los sistemas hídricos puede apreciarse si se considera que el tamaño medio de los embalses ha tendido a quintuplicarse tanto en

<sup>1</sup> Salvo el afluente Tiete que drena la mayoría del Estado de São Paulo.

<sup>2</sup> Salvo Panamá, Colombia, Ecuador y el sur de Chile.

el último decenio como en lo que va corrido de los años setenta. En el Amazonas se han programado seis proyectos hidroeléctricos y hay 45 más en estudio. En la cuenca del río la Plata se ejecutarán 18 proyectos dentro de los próximos 10 o 15 años, algunos de los cuales ya están en construcción, lo que bastará para aumentar la capacidad hidroeléctrica actual en alrededor de 1500/o. En la cuenca del Orinoco se han programado 30 grandes represas y 5 en la cuenca Grijalva-Usumacinta.

La quinta característica es la marcada tendencia que muestra la mayoría de los países a centralizar la toma de decisiones. Si a esto se suma la distribución desigual del poder político y económico, hay razones para suponer que la inclusión de los aspectos ambientales en el manejo del agua acarreará mayores dificultades que en otras regiones. Esta observación se basa en la hipótesis de que los problemas ambientales surgen únicamente cuando hay un conflicto real o potencial sobre el uso del agua, o sea, cuando es un asunto de distribución de costos y beneficios y de consumo actual versus consumo futuro. Estas son cuestiones de índole moral que deben resolverse mediante decisiones políticas, las que inevitablemente reflejan el criterio de las autoridades sobre el valor que se otorgará a los intereses contrapuestos que están en juego.

Este último aspecto lleva a los supuestos y conceptos que podrían aplicarse respecto a los problemas ambientales que plantea el manejo del agua y que son el motivo principal de este estudio.

## *2. Algunos conceptos fundamentales*

En su esencia, la finalidad del manejo del agua es mejorar el bienestar social. En esta tarea se debe encarar problemas ambientales y no ambientales. Estos últimos se refieren, entre otros aspectos, a la capacidad técnica y administrativa para construir estructuras oportunamente y suministrar los insumos necesarios para asegurar el uso productivo y eficiente de los recursos. La dimensión ambiental estaría dada por las externalidades que surgen al intensificarse el uso del agua como resultado de acontecimientos no planificados o impredecibles.

El efecto es siempre un cambio imprevisto en el sistema natural, que puede caer dentro de la jurisdicción de la correspondiente unidad de manejo o fuera de ella. El efecto ambiental de este cambio lo sufre la sociedad en la forma de deterioro de la salud, pérdida de lugares de esparcimiento o de pesca, abandono de terrenos utilizados previamente para la agricultura debido a la salinidad, anegamiento, acidificación y erosión del suelo, o menor producción de energía eléctrica debido a la sedimentación en los embalses. En estas situaciones casi siempre se produce un conflicto entre beneficiados y perjudicados. Como es prácticamente inevitable que haya cierto grado de deterioro ambiental y que éste a su vez origine conflictos entre grupos es esencial formular diversas estrategias optativas que conduzcan a distintas modalidades de distribución de los costos y beneficios entre

grupos sociales o entre generaciones y adoptar la que sea más equitativa.

En suma, el problema consiste en incorporar paulatinamente (internacionalizar) los acontecimientos no planificados; establecer un sistema de manejo que se ocupe desde un comienzo de los procesos impredecibles y de identificar sus manifestaciones, manteniendo la flexibilidad necesaria para adaptarse a ellos; y adoptar procedimientos que amplíen la participación en las decisiones por parte de los beneficiados y perjudicados con la mayor utilización de los recursos hídricos.

El problema de cómo ponderar la importancia relativa del deterioro ambiental frente a la preservación de la calidad del medio ambiente y de cómo determinar la forma en que se compartirán los costos y beneficios consiguientes plantea interrogantes estructurales que trascienden del campo del manejo del agua, objeto del presente estudio. El criterio aquí adoptado es el de concentrarse en la identificación de las esferas de análisis y manejo de los recursos hídricos que puedan ampliarse para abarcar los aspectos ambientales sin necesidad de reestructurar radicalmente los sistemas institucionales, nacionales o internacionales.

### *3. Algunos aspectos del manejo del agua*

La relación entre el medio ambiente y el manejo del agua difiere notablemente según se trate de sistemas hídricos regidos por grandes complejos urbanos o por estructuras reguladoras de caudales.

#### *a) Los sistemas hídricos regidos por centros urbanos*

En general, en los centros metropolitanos los servicios públicos de abastecimiento de agua, alcantarillas y desagüe son insuficientes; la descarga de las aguas servidas domésticas e industriales deteriora la calidad de los recursos hídricos cerca de las zonas urbanas, y la mayor superficie urbanizada ha tenido en muchos casos efectos nocivos sobre el régimen hidrológico. En cuatro casos urbanos aquí estudiados —Bogotá, Río de Janeiro, Santiago y São Paulo— el deterioro de la calidad del agua, debido fundamentalmente a la contaminación biológica, ha creado conflictos cada vez más graves en relación con el uso del agua.

Los grandes conglomerados urbanos de la región monopolizan el uso del agua. Tanto es así que a menudo dentro de un mismo sistema otras actividades, como el riego y la generación de hidroelectricidad, revisten gran importancia económica y social y sin embargo reciben un trato marginal como usuarios.

Alrededor de la quinta parte de la población urbana de América Latina carece de agua potable y 60% de ella no está conectada al servicio de alcantarillas. Si se mantiene esta situación y las ciudades continúan creciendo habrá problemas sanitarios cada vez más graves que afectarán no sólo a la población marginada de estos servicios, sino también a la perjudicada

por el escurrimiento y por las inundaciones de zonas contaminadas las que contaminarán a su vez el cuerpo de agua receptor. El deterioro de la calidad del agua tiende a agravar aún más el problema de la falta de esos servicios urbanos, perjudicando así más a los pobres que a los acomodados. Desde el punto de vista de la equidad, sin embargo, el conflicto no radica en asignar recursos para tratar los desechos o para ampliar los servicios básicos; sino más bien debe plantearse como la necesidad de adaptar todo el sistema social de modo que puedan repartirse igualitariamente los costos de las deseconomías producidas por la expansión urbana y el crecimiento industrial. Lo anterior sugiere que se debería reconsiderar la tesis según la cual la calidad del medio ambiente es preocupación de los ricos. Además, plantea un interrogante de macrodesarrollo acerca de las posibles deseconomías externas de las políticas que fomentan la concentración de la población y la actividad económica y que permiten que estas megalópolis amplíen el ámbito de su monopolio sobre los recursos hídricos hasta abarcar sistemas vecinos mediante sucesivas transferencias entre cuencas.

b) *Los sistemas hídricos regidos por estructuras de regulación*

Las características esenciales que distinguen a estos sistemas son la íntima relación entre el uso de la tierra y del agua, la gran vinculación entre las zonas situadas aguas arriba y aguas abajo de las obras de regulación y la importancia de la ecología para entender el carácter de dichas relaciones.

En los proyectos de San Lorenzo (riego de una región desértica del litoral del Perú), La Chontalpa (control de crecidas y drenaje en la costa del Golfo de México), y Caño Mánamo (rehabilitación de tierras en el delta del Orinoco), han surgido problemas ambientales de manejo debido a las relaciones suelo-agua que disminuyeron la productividad agrícola tanto en los propios proyectos, como aguas abajo. Como consecuencia, fue necesario hacer grandes inversiones en medidas correctivas. En el proyecto hidroeléctrico del Guri, situado en la cuenca del Orinoco, Venezuela, el asentamiento imprevisto que se produjo aguas arriba, que podía ocasionar erosión y sedimentación del embalse, condujo a la dictación de un reglamento para la utilización de la tierra en la cuenca con prohibición absoluta de realizar actividades forestales y agrícolas. El río Aconcagua, en la zona central de Chile, ilustra los problemas de manejo que surgen al intensificarse los usos múltiples del agua en una región con gran densidad demográfica, muy desarrollada y con disponibilidad limitada de dicho elemento.

Aquí, los problemas que se plantean son la mayor eficiencia del uso del agua en el regadío, las crecientes exigencias urbanas, la necesidad de tratar los desechos urbanos o suministrar caudales adicionales de dilución para limitar los conflictos a que da lugar el deterioro de la calidad del agua, y las posibles consecuencias de exportar agua del valle mediante transferencias entre cuencas.

#### *4. Los aspectos ambientales en la planificación y manejo de los recursos hídricos*

El desarrollo y la calidad ambiental son inseparables y la protección del medio ambiente debe ser parte integral de la planificación y manejo de los recursos hídricos. Por eso, lo más importante es la capacidad de las autoridades competentes para percatarse de los problemas ambientales, formularlos y tenerlos en cuenta al decidir la modificación física de sistemas hídricos y la regulación de su uso y el de los recursos afines. La eficiencia en el manejo del agua dependerá de la interacción entre la estructura institucional de planificación y toma de decisiones y la calidad del análisis y de la información disponible que se utilizará en el proceso de planificación y manejo.

##### *a) Cuestiones institucionales*

La mayoría de los problemas que plantea el manejo del agua se encara con criterio restringido. Muchas veces los propios usuarios determinan de hecho el manejo. No debe sorprender, en consecuencia, que el criterio adoptado sea limitado, ya que son contadas las instituciones que están capacitadas estructuralmente para identificar los problemas de mayor alcance, o para hacer frente a las modificaciones en sus planes, funcionamiento y actividades reguladoras que imponen los cambios rápidos en el uso del agua. La estructura institucional debe reflejar, en forma explícita, la inseparabilidad del manejo del agua y el uso de la tierra, ajustando los límites jurisdiccionales y físicos. Los casos estudiados muestran que la expansión autónoma de los asentamientos humanos y las consiguientes actividades económicas que suponen ocupación y uso de la tierra, sea al margen de los proyectos hidráulicos (por ejemplo, las ciudades) o como consecuencia de ellos (por ejemplo, los asentamientos agrícolas), han tenido importantes consecuencias ambientales. Es necesario, entonces, que los usuarios y los organismos de manejo y planificación adquieran mayor conciencia acerca de la naturaleza y magnitud de las modificaciones físicas que ocasiona el desarrollo, de los cambios en los recursos hídricos que producen dichas modificaciones, y de las consecuencias sociales y económicas de tales cambios.

Es inevitable que las consecuencias ambientales del uso del agua originen conflictos. En ninguno de los casos estudiados existía un mecanismo para resolver los conflictos que surgieron entre los beneficiados y los perjudicados a raíz de las diversas decisiones adoptadas sobre el uso del agua y el desarrollo, ni tampoco había un sistema de planificación y de toma de decisiones que planteara en forma explícita el problema de la distribución de los beneficios y costos de los efectos ambientales. Debe ampliarse el concepto de participación de los beneficiarios para incluir también a los que se perjudican con el proceso de desarrollo.

Las recomendaciones sobre el tipo de modificaciones institucionales que podría introducirse para aplicar mejor los criterios sugeridos no pueden ser universales. La decisión de encomendar el manejo de los recursos hídricos a las autoridades de las cuencas hidrográficas, a los ministerios nacionales encargados del agua, de los recursos naturales o del medio ambiente, o a comisiones interinstitucionales, dependerá de la situación peculiar de cada país. Algunos países han comenzado a legislar en materia de protección ambiental, pero las dificultades con que han tropezado para establecer las instituciones y los mecanismos fiscales y reguladores para ejercer un control efectivo sobre los recursos hídricos y conexos han sido formidables en muchos casos. Frecuentemente se carece de pruebas convincentes sobre la conveniencia política y las ventajas recíprocas que reportaría la colaboración institucional para introducir la dimensión ambiental.

#### b) *Cuestiones analíticas y de información*

En el caso de América Latina, cabría preguntarse si las metodologías que se utilizan para evaluar proyectos y sus consiguientes efectos ambientales responden a las necesidades del manejo ambiental; si requieren modificaciones antes de poder aplicarse; si son totalmente inadecuadas y, por lo tanto, suponen revisión de criterios; o si son muy complejas y exigen demasiados datos como para ser de utilidad en las condiciones que prevalecen en la región. Sin embargo, no cabe duda que la aplicación atinada de las actuales técnicas de evaluación puede ser muy útil para los decisores de América Latina. Los problemas que origina su aplicación son universales: cómo fijarles precio a los insumos y al consumo futuros; cómo cuantificar rubros que tradicionalmente se han considerado no cuantificables; y cómo ponderar objetivos múltiples. El hecho de que no puedan cuantificarse ni los efectos ambientales ni sus costos y beneficios desde los puntos de vista económico y social, constituye un factor restrictivo de las decisiones que deban adoptarse al encarar el problema de las normas de calidad ambiental.

La utilidad que preste una metodología dependerá en gran parte de la etapa en que se adopten las decisiones. Primeramente, está la diagnosis, es decir, la evaluación de los criterios y el procedimiento con arreglo a los cuales se determinarán el estado del medio ambiente y las prioridades o preferencias de las sociedades con respecto a la calidad del mismo, dadas las modificaciones físicas y el deterioro que acompañan automáticamente al desarrollo. En segundo lugar está la evaluación de diversas estrategias de desarrollo susceptibles de preservar las normas de calidad ambiental establecidas o de reducir las consecuencias ambientales negativas de la intervención. En este caso la opción se planteará entre estrategias con efectos

ambientales diferentes y con costos y beneficios para la sociedad también diferentes en cuanto a sus valores absolutos y a su distribución en el tiempo y entre las personas. En tercer lugar está la evaluación de casos reales, por ejemplo ciudades o embalses, en el proceso de determinar diversas soluciones posibles para reducir el daño ambiental. Aquí es fundamental el control y la retroalimentación sistemáticos. En cuarto término, está el control continuado y el examen *ex post* de las consecuencias ambientales, que contribuyen a perfeccionar la metodología para diseñar nuevos proyectos y programas de manejo, y a introducir medidas correctivas en las situaciones adversas que se están produciendo.

El carácter altamente subjetivo de la calidad ambiental y además la necesidad de una amplia participación en el proceso de determinar a quiénes beneficia y a quiénes perjudica, y en qué medida, una estrategia de manejo que permita cierto grado de deterioro ambiental son cuestiones que se han abordado tanto desde el punto de vista conceptual como institucional. Es preciso conocer mejor lo que desean diferentes grupos de la sociedad en conexión con la conservación ambiental. Sin embargo, para ello es necesario que existan algunos indicadores tangibles de la calidad del medio ambiente. Se podría medir el oxígeno disuelto en el agua, pero lo crucial no es el estado físico del recurso sino sus consecuencias socioeconómicas. Aunque rigen ciertos principios generales, las relaciones entre el hombre, el medio físico acuático y los objetivos socioeconómicos concretos aplicados imponen un sistema de evaluación de la calidad ambiental que refleja la particularidad de cada caso de manejo del agua. Hay pocos parámetros de la calidad ambiental, si es que los hay, que puedan considerarse de aplicación universal.

La base teórica de la planificación y el manejo de los recursos hídricos orientados hacia la preservación de la calidad ambiental descansa en la evaluación del efecto ambiental y la búsqueda de alternativas. El análisis que tiene por objetivo dilucidar la dimensión ambiental se caracteriza por:

- i) ser un problema y no la orientación de un proyecto;
- ii) considerar sistemas mayores para "internalizar" las externalidades;
- iii) formular una amplia gama de soluciones para los problemas;
- iv) reconocer explícitamente la incertidumbre y la probabilidad de que ocurran acontecimientos imprevistos; y
- v) examinar las posibles consecuencias que tendrán a largo plazo para los sistemas socioeconómicos y biológicos las acciones de corto plazo.

Debido a que las atribuciones institucionales son limitadas, los problemas suelen definirse con criterio restringido y, por consiguiente, en las metodologías para evaluar los programas y proyectos a menudo no se ha reconocido la necesidad de prestar mayor atención a posibles disminuciones de la capacidad de los sistemas hídricos naturales o artificiales para mantener la corriente de bienes y servicios, ni las consecuencias de tal deterioro para el sistema socioeconómico. Además, se ha tendido a buscar

soluciones basadas en proyectos de ingeniería que más parecen fines que medios. Esto no quiere decir que sea fácil predecir tales consecuencias y, por ende, tenerlas presentes desde un comienzo. La especificación de los acontecimientos inciertos y el reconocimiento explícito de influencias impredecibles plantean verdaderas dificultades operacionales siendo, además, difícil encontrar información fidedigna en muchos casos.

Sin embargo, es fundamental como primer paso ampliar no sólo la definición del sistema en cuestión sino la gama de posibilidades de manejo para tener en cuenta algunas consecuencias generales de carácter social, económico y biológico de las alteraciones del medio ambiente. En particular, en los casos de regulación de caudales es necesario prestar mayor atención al grado de elasticidad del sistema natural frente a las perturbaciones provocadas por el desarrollo y a la dinámica de los efectos en cadena que pueden conducir a situaciones irreversibles. También está el asunto de las consecuencias socioeconómicas de los cambios físicos de los sistemas hídricos y conexos y de cómo responden las instituciones cuando surgen cambios imprevistos. En lo anterior, queda implícita la idea de que el analista se ocupará de las posibles consecuencias de largo plazo de las acciones de corto plazo.

Al procurar encasillar algunos de estos problemas las listas de verificación serían de utilidad. Las técnicas para evaluar proyectos y el análisis beneficio-costos podrían fortalecerse mediante el empleo de técnicas de evaluación de los efectos ambientales y de modelos ecológicos, de calidad del agua y de manejo que permitan efectuar pruebas de sensibilidad del medio ambiente frente a distintos programas de manejo, características biofísicas o de conducta social, objetivos, horizontes de tiempo, etc. También permitirían identificar vacíos cruciales en la información y proporcionarían una base para establecer restricciones por motivos ambientales.

Es axiomático que la información constituye siempre un factor limitativo para la planificación y manejo del agua. El volumen de datos biológicos, sociológicos, económicos y técnicos que podría necesitarse para evaluar los efectos ambientales es prácticamente ilimitado. Las decisiones no pueden tardar demasiado a la espera de que se recopile y analice la información adicional necesaria. Sin embargo, en los casos de los ríos Maipo y San Lorenzo, contenidos en este informe, ya existía bastante información. El problema no estriba pues tanto en la escasez de datos sino en la revisión y evaluación sistemáticas de los que están disponibles dentro de un marco o modelo determinado que además pueden servir de orientación en esferas críticas en que no existen datos o se necesita mayor precisión.

### *5. Cuestiones pendientes*

De la revisión de los principales problemas ambientales que enfrenta el manejo del agua se desprende que América Latina no encara en modo alguno una catástrofe ambiental inmediata. Pese a las exigencias a que han

sido sometidos los ecosistemas acuáticos y conexos éstos han dado pruebas de poseer considerable elasticidad para absorber los efectos de la intervención del hombre. Con todo, en los grandes centros metropolitanos la situación ha alcanzado proporciones críticas y ante los planes de regulación intensiva de los caudales no es posible permanecer indiferentes acerca del futuro. Los cambios no serán rápidos. Será difícil, aunque indispensable, modificar las estructuras de planificación y decisión para conseguir paulatinamente una mayor participación de los afectados por el manejo del agua. Además surgen interrogantes acerca de cómo generar en el seno de las entidades responsables del manejo del agua una demanda de profesionales capaces de formular y analizar problemas ambientales, y de cómo satisfacerla.

En el presente estudio se ha tratado de esbozar la naturaleza y magnitud de las relaciones entre medio ambiente y desarrollo con respecto al uso de los recursos hídricos y conexos en América Latina. Se ha procurado extraer ciertas lecciones generalizables a partir de experiencias concretas sobre el manejo de los recursos hídricos. Sin embargo, hay que profundizar mucho más el conocimiento que se tiene de estos problemas complejos, lo que probablemente no se consiga elaborando un marco conceptual globalizador. El procedimiento con mayores posibilidades de éxito parece ser el inductivo, es decir, la formulación y comprobación de hipótesis en un caso real concreto de manejo del agua. Con esta base se podrá efectuar un análisis minucioso de una serie de problemas interrelacionados, marco jurídico-institucional del manejo del agua, tecnologías optativas, metodologías para evaluar los efectos ambientales, necesidades de control e información y de capacitación.

En el largo plazo, debería prestarse atención al mejoramiento del análisis (y a la demanda institucional del mismo) que cuestionará la totalidad del sistema de manejo del agua e identificará y evaluará una amplia gama de opciones que permitan elegir un curso de acción inicial en que la diferencia neta prevista entre los beneficios socioeconómicos obtenidos y el daño ambiental provocado se aproxime al máximo. Pero, en el corto plazo se requerirá un análisis que respalde las decisiones sobre asignación de recursos para preservar la calidad ambiental que podría exigir: medidas y políticas correctivas para disminuir la tasa de deterioro de los sistemas que ya han sufrido modificaciones permanentes por la urbanización y la descarga consiguiente de desechos o por la construcción de presas, canales y de avenamiento, etc.; o ajustes en los programas existentes para disminuir el posible daño ambiental proveniente de proyectos hidráulicos ya presupuestados o en construcción y, que por razones institucionales y políticas no puedan ser reconsiderados ni comparados con otras iniciativas de desarrollo totalmente nuevas. Por ende, la máxima oportunidad de aprender radica en la evaluación de la experiencia. Las instituciones de manejo del agua encargadas de la inversión y del control del uso del agua deberán estar alertas frente al daño ambiental, mantener sistemas de control para detectarlo, emprender evaluaciones *ex post* que ofrezcan ideas para subsanarlo,

y organizarse para responder a la información proporcionada por el control y la evaluación. El acopio y difusión sistemáticos de este conocimiento ofrecen la mejor vía para incorporar la dimensión ambiental en el manejo del agua.

- - - - -

## INTRODUCCION

Este informe se dirige a las autoridades de gobierno que tienen la responsabilidad de la planificación y el aprovechamiento de los recursos hídricos y a los profesionales que desarrollan actividades afines en el campo de la educación, la capacitación en el servicio y la investigación. Presenta una síntesis de los principales hallazgos de una investigación regional latinoamericana cuyo objetivo es contribuir a mejorar la planificación y el aprovechamiento de los recursos hídricos, teniendo especialmente en cuenta la necesidad de conciliar las exigencias que imponen el desarrollo económico acelerado y la protección del medio ambiente, y formula algunas sugerencias para la acción futura. El proyecto fue encargado por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) en febrero de 1975, y coauspiciado por la Comisión Económica para América Latina (CEPAL). Fue realizado por la CEPAL, en colaboración con varias instituciones nacionales y organismos especializados de las Naciones Unidas, durante el período comprendido entre septiembre de 1975 y diciembre de 1977.

### *1. La génesis del proyecto*

Cunde cada vez más en las esferas de gobierno y entre los especialistas en desarrollo el convencimiento de que, al perseguir determinados objetivos económicos y sociales, es necesario prestar mayor atención a la calidad del medio ambiente; que para ello se debe contar entre otras cosas, con criterios innovadores acerca del manejo de los recursos naturales; y, que tales criterios deben encontrar aplicación adecuada en los problemas que plantea el uso del agua. El estudio tiene su origen en dicho convencimiento. La Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano, celebrada en Estocolmo en 1972, destacó la necesidad --hoy ampliamente reconocida-- de extender la evaluación de las políticas y los proyectos de desarrollo a fin de examinar el comportamiento de los sistemas naturales y algunas consecuencias socioeconómicas tradicionalmente pasadas por alto. Las actividades del PNUMA durante los últimos cinco años han renovado el

interés por la relación existente entre el aprovechamiento de los recursos renovables y las medidas encaminadas a preservar la calidad ambiental y a mantener a largo plazo los servicios que presta al hombre el sistema que hace posible su vida. La CEPAL ha compartido este interés en lo que concierne a los aspectos del desarrollo que se vinculan al medio ambiente.

El estudio plantea los siguientes interrogantes fundamentales, que atienden en general tanto al PNUMA como a la CEPAL:

a) qué modificaciones es factible introducir en los criterios analíticos y las estructuras de decisión para que, en la búsqueda del crecimiento económico acelerado a través del uso más intensivo del agua, se otorgue mayor consideración a la calidad del medio ambiente;

b) qué consecuencias traerían tales modificaciones en cuanto al personal y a la capacitación y;

c) cuáles serían las orientaciones más constructivas para que los organismos internacionales de asistencia en este campo puedan contribuir a desarrollar la capacidad nacional para detectar los problemas y para diseñar y ejecutar políticas de desarrollo de los recursos hídricos que consideren debidamente la calidad del medio ambiente.

Puesto que no se había hecho en América Latina una evaluación crítica de los aspectos ambientales del aprovechamiento del agua, se esperaba que los resultados de este estudio tuvieran interés y valor para los organismos gubernamentales y las instituciones internacionales de desarrollo que enfrentan dichos interrogantes en el curso de su gestión y de la planificación y diseño de proyectos relacionados con la utilización del agua.

## *2. El marco analítico*

El método de investigación establecido en el proyecto es el inductivo. Empleando como arco general un conjunto de conceptos de manejo del medio ambiente, dentro del cual se examinarían algunos ejemplos de uso del agua, el estudio primeramente identificaría dónde y en qué medida la dimensión ambiental estaba incorporada en las decisiones de planificación y manejo; y, en seguida, interpretaría esta experiencia para tener una perspectiva de cómo asesorar y modificar en mejor forma dicho manejo a fin de que se preste mayor atención a los aspectos ambientales. El elemento clave de la metodología es, pues, una serie de estudios de casos de manejo del uso intensificado de sistemas hidrológicos. Estos constituyen la base principal del análisis realizado en este informe, la que se ha complementado con datos provenientes de otros proyectos y fuentes. El enfoque es empírico, y en la medida en que las hipótesis sean pertinentes, estarían también implícitas en los conceptos ambientales elegidos para enmarcar el estudio.

a) *Algunos conceptos fundamentales*

Es indudable que el desarrollo ejercerá cada vez más presión sobre los recursos hídricos en América Latina y que el uso más intensivo de éstos afectará el medio ambiente. Entre los años 1975 y 2000, la población de la región casi se duplicará<sup>3</sup>, en tanto que las proyecciones del crecimiento de la producción bruta van del 5 al 7% anual, y las de la producción por habitante del 2.5 al 3.5%, lo que significa cuadruplicar la producción durante esos 25 años.<sup>4</sup>

Dado que la relación entre desarrollo y medio ambiente ha sido objeto de constante debate, lo mismo que la evaluación de las repercusiones del primero sobre el segundo, interesa esbozar algunos conceptos para caracterizar el criterio que guía el presente estudio. En el anexo A se hace un análisis más detenido de diversos criterios de evaluación del nexo medio ambiente-desarrollo, en lo que respecta a los recursos hídricos.

En los últimos años se ha escrito mucho acerca de la naturaleza del medio ambiente y la relación entre su calidad y el desarrollo económico.<sup>5</sup> Esa relación depende, en gran medida, de la definición de medio ambiente que se adopte. En un extremo de la gama de opiniones, el medio ambiente se define como "... la existencia (o la corriente) de recursos físicos y sociales disponibles en un momento dado para atender las necesidades humanas".<sup>6</sup> Tal definición incorpora la mayor variedad posible de elementos y contempla el examen de otros estilos de vida y modelos de desarrollo basados en nuevos valores sociales respecto al uso de los recursos naturales, a la tecnología de producción y a las formas y distribución del consumo. En el otro extremo, el medio ambiente puede restringirse hasta significar sólo los recursos renovables o los ecosistemas naturales. Entre estos dos extremos, el ámbito que se seleccionará para análisis dependerá del problema de que se trate y, a su vez, del nivel de decisión o de manejo que deba resolverlo.

<sup>3</sup> CELADE *Boletín demográfico*, año IX, Nº 18, Santiago, julio de 1976, p. 11.

<sup>4</sup> Véase: Naciones Unidas, *The Future of the World Economy*, (ST/ESA/44), Nueva York, 1976.

<sup>5</sup> Véanse, Naciones Unidas, *Informe de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano*, Nº de venta E.73 II.A.14, Nueva York, 1973; B. Ward y R. Dubos, *Una sola tierra*, Fondo de Cultura Económica, México, 1972; PNUMA, "Medio ambiente y desarrollo", UNEP/GC/76, Nairobi, 1976, (documento mimeografiado); D. Meadows, y colaboradores, *The Limits to Growth*, Universe Books, Nueva York, 1972; M. Mesarovic y E. Pestel, *La humanidad en la encrucijada*, Fondo de Cultura Económica, México, 1975; A.O. Herrera, *et al.*, *Catastrophe or New Society?*, *The Latin American World Model*, IDRC - 064C, Ottawa, junio de 1976; Wilfred Beckerman, "The desirability of economic growth" en Nicholas Kaldor (ed.), *Conflicts in Policy Objectives*, Augustus M. Kelly, Nueva York, 1971, pp. 38-61; H.S.D. Cole *et al.*, *Models of Doom*, Universe Books, Nueva York, 1973; e informe de un grupo de expertos celebrado en Founex, Suiza, 4-12 junio de 1971, "Development and Environment", Mouton, París, 1972.

<sup>6</sup> PNUMA, "Medio ambiente y desarrollo", *op. cit.*, p. 4.

El campo del manejo de la calidad del medio ambiente se muestra dinámico y existe un amplio espectro dentro del cual pueden interpretarse los términos. Sería difícil afirmar que existe un criterio "aceptado"; hay todavía contradicciones, controversias y problemas por resolver. Además, es lógico suponer que los países tengan criterios diferentes. Se observa una tendencia a emplear indistintamente los términos "ecológico", "recurso natural", "ecosistema", "racional" y "relativo al medio ambiente" al catalogar el término "manejo". No siempre queda claro que los propósitos del manejo del medio ambiente sean antropocéntricos. Existe incertidumbre respecto a la importancia relativa que debe darse al bienestar de la actual generación frente al de las generaciones futuras, y respecto de hasta qué punto se debe buscar un marco de planificación de largo plazo, en oposición a los horizontes típicos de 30 o 40 años propios del análisis tradicional de proyectos. ¿Debe la planificación aceptar los postulados del determinismo tecnológico de que la escasez de recursos se traducirá en precios más elevados (mediante la aplicación de la ley de la oferta y la demanda) y que dichos precios obligarán a aplicar la tecnología al desarrollo de sustitutos, (por ejemplo, energía), al reaprovechamiento (por ejemplo, metales) o al reemplazo del recurso natural (por ejemplo, bombear el sedimento del embalse de vuelta a la cuenca)? Otro interrogante es si puede hacerse algo para mejorar la calidad del medio ambiente a través de la adaptación marginal de las instituciones y mecanismos de decisión existentes, o si la completa revisión de las instituciones nacionales e internacionales es condición previa indispensable.<sup>7</sup>

En último término, el manejo del medio ambiente puede concebirse de alcance global. A efectos del manejo práctico, es necesario seleccionar algunos aspectos de la realidad y sobre esa base proporcionar pautas utilizables para incorporar factores ambientales en la estructura de decisiones. La selección de estos aspectos es hasta cierto punto arbitraria y refleja los valores de quienes la realizan. En todo estudio de los problemas del medio ambiente la metodología, la elección de objetivos, los supuestos y la definición de los límites del sistema estudiado reflejan los juicios subjetivos del analista.

El interrogante que plantea el manejo del medio ambiente es qué puede y debe hacerse para disminuir el deterioro del mismo. Desde el punto de vista del medio ambiente, los costos de las actividades extractivas o de eliminación de residuos no constituyen anomalías del sistema económico,

<sup>7</sup> Véase: "Declaración de Cocoyoc", aprobada en el Simposio sobre Modelos de Utilización de Recursos, Medio Ambiente y Estrategias de Desarrollo, organizado por PNUMA y UNCTAD, Cocoyoc, México, 8 a 12 de octubre de 1974 (versión mimeografiada) e Ignacy Sachs "Ambiente y estilos de desarrollo", *Comercio Exterior*, vol. XXIV, N° 4, abril de 1974, pp. 360-375.

sino que son inherentes a los procesos de producción y de consumo.<sup>8</sup> La intensidad de los efectos sobre el medio ambiente variará según el grado de desarrollo, la productividad y el crecimiento demográfico. La opción no se plantea entre deterioro y no deterioro; el objetivo consiste en encontrar un nivel de deterioro aceptable o un nivel de recursos destinados a la protección del medio ambiente que sea coherente con la asignación de los escasos recursos de la sociedad a otras actividades que también tienen utilidad social.

El manejo del medio ambiente exige a quienes lo realizan tener en cuenta la presión que ejerce sobre el sistema natural la actividad económica creada por el proceso de desarrollo y la concentración de la población, la cual puede:

- a) extraer del ecosistema exceso de productividad biológica;
- b) sobrecargar el sistema con desechos o estimulantes artificiales de la productividad biológica; y
- c) alterar los procesos biológicos mediante la aplicación de sustancias completamente ajenas a ellos.<sup>9</sup>

En este marco, corresponde a quienes manejan el medio ambiente considerar la intensificación del uso del agua a la vez como causa y como efecto del desarrollo. De ello se desprende que la intervención en los sistemas hídricos trae consigo consecuencias para el bienestar humano en sus aspectos social y cultural, además de económico, lo cual no pueden pasar por alto las autoridades que manejan los recursos naturales. Para evaluar y diseñar diversas vías de acción las autoridades pueden contar con la ayuda de equipos interdisciplinarios, pero deben privar las consideraciones éticas en la opción entre formas de manejo eficientes desde el punto de vista económico o social que den como resultado diversas modalidades de distribución de beneficios y costos entre grupos de la sociedad o entre generaciones. Por consiguiente, lo capital son los valores de las autoridades decisoras y el peso relativo que cada una posee para influir sobre el resultado final.<sup>10</sup>

Sólo surgen problemas ambientales en el manejo cuando existe o se prevé un conflicto en el uso de los servicios hídricos; y el deterioro del medio ambiente sólo se plantea cuando parecen existir los medios técni-

<sup>8</sup> Véase: Allen V. Kneese y Ralph C. d'Arge, "Pigovian external costs and the response of society", en *The Analysis and Evaluation of Public Expenditures: The PPB System*. Un compendio de documentos presentados a la subcomisión de economía de la Comisión Económica Conjunta del Gobierno, 91º período de sesiones del Congreso de los Estados Unidos, 1969, pp. 87-115.

<sup>9</sup> Barry Commoner, "The environmental costs of economic growth", en *Energy, Economic Growth and the Environment*, S.H. Schurr (Ed.), Johns Hopkins Press, Baltimore, 1972, p. 34.

<sup>10</sup> Véanse: L.H. Tribe, C.S. Schelling y J. Voss (Eds.), *When Values Conflict*, Ballinger, Cambridge, Mass., 1976; y D.W. Fisher y R.F. Kieth, "Assessing the development decision-making process", *American Journal of Economics and Sociology*, vol. 36, Nº 1, enero de 1977, pp. 1-17.

cos e institucionales para iniciar una acción correctiva o preventiva.

El criterio adoptado en este estudio —y que ya está bastante generalizado— destaca la importancia de ampliar la gama de acciones optativas en la planificación y el manejo de los recursos hídricos, considerando en forma cada vez más explícita, en los estudios de factibilidad y en los planes de aprovechamiento, la necesidad de evitar o aminorar los efectos nocivos sobre el medio ambiente. No cabe duda que si la equidad es de importancia crucial para la sociedad, se dejará también sentir la necesidad de ampliar la participación de quienes pueden ganar o perder al elegirse un determinado curso de acción.

*b) El enfoque del estudio, sus interrogantes claves y su alcance*

La finalidad primordial del estudio es examinar la experiencia pasada, los hechos actuales y las nuevas ideas en América Latina, a fin de que sirvan de base para perfeccionar la información y también para obtener pautas prácticas que sean de utilidad para los encargados de planificar, ejecutar y evaluar los programas de aprovechamiento y desarrollo de los recursos hídricos. Aunque no se espera que el estudio dé respuesta a los interrogantes sobre el medio ambiente que plantea el aprovechamiento del agua se pretende, en cambio, que dé orientaciones generales a los planificadores y decisores para evaluar cualquier situación dada en una perspectiva más amplia, para ampliar la gama de acciones optativas y para aquilatar en forma más sistemática las consecuencias ambientales de corto y largo plazo de las diversas opciones.<sup>11</sup>

El estudio gira en torno a la premisa de que el manejo del agua en América Latina ha sido en general fragmentario; que ha prestado poca atención a las características biofísicas del recurso mismo y a la variación que éstas pueden sufrir al modificar el uso de los recursos hídricos y conexos, o a la forma en que estos cambios se reflejan en los sistemas naturales o artificiales con las repercusiones consiguientes sobre el bienestar social; y, que podría mejorarse ampliando su concepto (y con ello la gama de opciones consideradas) y atendiendo más a las relaciones biofísicas de los sistemas naturales modificados durante el proceso de desarrollo, lo que permitirá prestar mayor atención a los aspectos ambientales.

Formulada esta premisa, surgen varios interrogantes acerca de la capacidad potencial de modificar los valores y las estructuras institucionales que condicionan los procesos de decisión y los criterios de investigación, evaluación y planificación que respaldan las decisiones de manejo. Los siguientes son los interrogantes principales que se plantean.

—¿Cuáles son los nuevos puntos de partida que deben buscarse para conceptualizar los problemas, quizá en función de modelos utópicos de estructuras sociales destinados a aumentar la satisfacción individual y co-

<sup>11</sup> Véanse en el anexo B las pautas principales del estudio.

lectiva o a mejorar la calidad de la vida?

—¿Qué clase de programa se necesitaría para despertar la conciencia social y llegar al grueso de la población y a la postre cambiar sus concepciones, y quién decidiría el contenido de dicho programa?

—¿Cuáles son las posibles direcciones viables en que podrían modificarse las disposiciones institucionales sobre el uso y manejo del agua?

—¿Qué tipo de marco analítico y de información ofrecería una base perfeccionada para la adopción de decisiones en el manejo de los recursos hídricos y conexos?

Este estudio se ocupa de los dos últimos interrogantes.

La relación entre el manejo del agua y la calidad del medio ambiente se centra en dos aspectos vinculados entre sí: el efecto que tiene el manejo del sistema hídrico sobre el medio ambiente; y el efecto de ciertas decisiones del manejo del medio ambiente que atañen directamente a los servicios de agua o bien, indirectamente a la calidad del agua de un sistema o a su cantidad.<sup>1,2</sup> La delimitación del sistema hídrico y del medio ambiente variará según el papel que corresponda al decisor en cada caso. Al establecer el alcance del presente estudio se consideraron las necesidades de los administradores e instituciones más directamente interesados en ambos aspectos.

Una primera categoría de decisores la constituyen los responsables del efecto del manejo del agua sobre el medio ambiente y a quienes incumbe decidir en materias de planificación y manejo relativas al diseño, construcción y operación de obras para el control, uso o tratamiento del agua, como canalizaciones para uso urbano, rural, industrial, minero o agrícola; el abastecimiento de agua en las ciudades; los sistemas de alcantarillas; el tratamiento de los desechos urbano-industriales; las represas o diques para la prevención de crecidas; la extracción de aguas subterráneas; el avenamiento; los canales para la navegación, y embalses con su corolario de obras hidroeléctricas y de regadío. En este estudio son de importancia fundamental las consecuencias ambientales que tienen las decisiones de manejo vinculadas a tales obras. En este caso el medio ambiente puede interpretarse en su sentido más amplio de manera que las manifestaciones de su deterioro pueden abarcar desde la disminución de la capacidad de otros componentes del ecosistema natural (como los peces o los suelos) para proporcionar los bienes y servicios que el hombre necesita, hasta problemas sociales como la distribución del ingreso o aspectos culturales.

Bastante más difícil de definir resulta la segunda categoría de decisores, es decir, la de quienes desde fuera del sistema hídrico, afectan el funcionamiento de éste. El punto de partida para establecer las decisiones importantes de este grupo es la existencia de señales de deterioro en el sistema

<sup>1,2</sup> Se hará evidente que, según como se defina un sistema hídrico determinado, las decisiones sobre su manejo pueden tener efectos sobre recursos hídricos ajenos al sistema.

hídrico. Estas señales pueden dividirse en dos clases: cambios en las propiedades químicas, biológicas o físicas del agua, debidos a descargas de los sectores urbanos, industriales, mineros o agrícolas; y cambios en el régimen del caudal y en los sedimentos, debidos a actividades agrícolas, forestales o de construcción (por ejemplo, de caminos o de infraestructura urbana) en la cuenca alimentadora. El problema del control de las descargas en cuerpos de agua incumbe a los organismos vinculados a los usos posteriores de dichas aguas. Respecto de los sedimentos, el control del uso de la cuenca alimentadora puede encomendarse a los ministerios de agricultura (y silvicultura) y a las autoridades regionales o de la cuenca hidrográfica.

Es relativamente simple detectar las relaciones de causa y efecto, si se acepta que la causa es la intervención física en el sistema hídrico, sea con propósitos de desarrollo o con efectos indirectos como los antes señalados. Sin embargo, podría argumentarse que no deben dejarse en este punto las relaciones causales entre el uso del agua (o de recursos conexos) y las manifestaciones de cambio en el medio ambiente. Con esto se quiere significar que quienes manejan el medio ambiente deberían ir un paso más atrás en la jerarquía de toma de decisiones y preguntarse por qué se tomó la decisión de desarrollar un sistema hídrico en particular. Además, tendrían que examinar las raíces estructurales que condicionan los esquemas de distribución del ingreso, de la producción y del consumo y que influyen en la elección de tecnologías y en la distribución espacial de la población y de la actividad económica, y que repercuten en conjunto sobre la calidad ambiental. Sin embargo, se consideran fuera del alcance de este estudio las políticas tendientes a producir cambios fundamentales en el estilo de desarrollo, necesarios para corregir el deterioro del medio ambiente advertido en un sistema hídrico (junto con sus consecuencias perjudiciales en lo económico y social).

En este estudio se ha adoptado un criterio pragmático y el análisis se dirige a mejorar la planificación y el manejo de los recursos hídricos en las instituciones de la región, introduciendo en ellas modificaciones y ajustes en vez de llevar a cabo una profunda reorganización estructural. Se da por sentado que los objetivos son antropocéntricos, y que es inherente al concepto de calidad del medio ambiente la preocupación por preservar la capacidad de los sistemas naturales para proporcionar bienes y servicios a las generaciones presentes y futuras. Se reconoce que en la práctica el manejo de los sistemas hídricos quedará determinado en cada situación particular, por circunstancias sociales, culturales y económicas. Las diferencias pueden reflejarse en la importancia que concedan a la calidad del medio ambiente los diversos objetivos que persiga el desarrollo. Por definición, el desarrollo provoca cambios y de éstos, algunos aspectos son positivos y otros negativos. Se trata entonces de que el efecto neto sea positivo y que la diferencia entre los efectos negativos y positivos sea la mayor posible. A este respecto, el centro de interés del estudio es la gama de posibles efectos negativos, dada la hipótesis de que al disminuir éstos aumentará el balance positivo neto de las actividades de manejo del agua.

c) *La organización y realización del estudio*

La investigación se realizó en cuatro etapas principales. En la primera, hubo discusiones con especialistas de organismos nacionales e internacionales a fin de reunir información e ideas respecto a la metodología aplicable y a los interrogantes claves que permitieran destacar ciertos aspectos al determinar el alcance del estudio, así como sugerencias acerca de posibles casos que podrían examinarse. En la segunda etapa, se prepararon documentos de trabajo sobre el estado del conocimiento en el campo del análisis de la calidad del medio ambiente y su relación con el desarrollo económico, y sobre el campo más restringido del aprovechamiento de los recursos hídricos. En la tercera etapa, todo el esfuerzo se concentró en reunir información acerca de la disponibilidad de agua, los usos del agua en el pasado, el presente y los proyectados para el futuro, y el manejo de los recursos hídricos en América Latina. Se realizaron dos estudios especiales, uno sobre la calidad del agua y el otro sobre los aspectos jurídicos e institucionales de la utilización del agua. El primero lo preparó el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) con sede en Lima y, el otro, el Instituto Nacional de Economía, Legislación y Administración del Agua (INELA) de la Argentina. En la cuarta etapa, la más importante, se llevaron a cabo los estudios de casos. Finalmente, se procedió a revisar y evaluar la información y las ideas de las etapas anteriores, para la preparación del presente informe.

En primera instancia, los casos examinados se seleccionaron por cuanto ya se habían estudiado y reflejaban el pensamiento de las instituciones regionales de investigación y manejo de los recursos hídricos interesadas en los aspectos ambientales. Un segundo criterio de selección lo determinó la necesidad de presentar en forma equilibrada los dos aspectos principales vinculados al medio ambiente: el deterioro de la calidad del agua debido a la descarga de las aguas servidas de grandes complejos urbano-industriales, y los cambios producidos en los ecosistemas naturales y en los sistemas socioeconómicos por las obras de derivación y regulación de las aguas. Se eligió un total de nueve casos de manejo del agua, cuyas características principales se resumen en el cuadro 1 y cuyas ubicaciones se muestran en el mapa 1. La interrelación entre estos casos dentro del marco general de una cuenca hidrográfica se ilustra en el gráfico 1.

La realización de los estudios se resolvió encomendarla a consultores nacionales que tuvieran un conocimiento especializado de las situaciones respectivas. Inicialmente se pensó en aplicar una metodología común a todos los estudios con el objeto de obtener datos cuantitativos estandarizados con fines comparativos. Sin embargo, pronto se hizo evidente que dada la diversidad de situaciones y las distintas especialidades de los consultores sería imposible imponer un enfoque unificado. Al examinar la segunda parte de este informe se comprobará que los casos son muy diferentes, no sólo en cuanto a las situaciones hidrológicas analizadas, sino más aún desde

## CARACTERÍSTICAS DE LOS CASOS DE MANEJO DEL AGUA ESTUDIADOS

| Características                                 | Sistemas hídricos regidos por complejos urbanos |                       |                   |                    | Sistemas hídricos regidos por obras de regulación |                    |                  |                       |                          |
|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-----------------------|-------------------|--------------------|---------------------------------------------------|--------------------|------------------|-----------------------|--------------------------|
|                                                 | Bahía de Guanabara (Brasil)                     | Río Bogotá (Colombia) | Río Maipo (Chile) | São Paulo (Brasil) | Chontalpa (México)                                | San Lorenzo (Perú) | Guri (Venezuela) | Río Aconcagua (Chile) | Cabo Manzano (Venezuela) |
| <i>Sistema hídrico</i>                          |                                                 |                       |                   |                    |                                                   |                    |                  |                       |                          |
| Río-canal                                       |                                                 | X                     | X                 | X                  | X                                                 | X                  | X                | X                     | X                        |
| Lago-embalse                                    | X                                               |                       |                   | X                  |                                                   |                    |                  |                       |                          |
| Bahía-estuario                                  |                                                 |                       |                   |                    |                                                   |                    |                  |                       |                          |
| <i>Tipo de río</i>                              |                                                 |                       |                   |                    |                                                   |                    |                  |                       |                          |
| De tipo estuario                                | X                                               |                       | X                 |                    |                                                   |                    |                  | X                     | X                        |
| De tipo delta                                   |                                                 |                       |                   |                    | X                                                 |                    | X                |                       |                          |
| Afluente                                        |                                                 | X                     |                   | X                  |                                                   |                    |                  |                       |                          |
| <i>Clima</i>                                    |                                                 |                       |                   |                    |                                                   |                    |                  |                       |                          |
| Mediterráneo                                    |                                                 |                       | X                 |                    |                                                   | X                  |                  | X                     |                          |
| Árido tropical                                  |                                                 |                       |                   |                    |                                                   |                    |                  |                       |                          |
| Húmedo templado                                 |                                                 |                       |                   |                    |                                                   |                    |                  |                       |                          |
| Húmedo tropical                                 | X                                               | X                     |                   | X                  | X                                                 |                    | X                |                       | X                        |
| <i>Uso principal del agua</i>                   |                                                 |                       |                   |                    |                                                   |                    |                  |                       |                          |
| Transporte y dilución de desechos               | X                                               | X                     | X                 | X                  |                                                   |                    |                  | X                     |                          |
| Riego                                           |                                                 |                       | X                 |                    |                                                   | X                  |                  | X                     |                          |
| Hidroelectricidad                               |                                                 | X                     |                   | X                  | X                                                 |                    | X                |                       |                          |
| Prevención de crecidas y avenamiento            |                                                 |                       |                   |                    |                                                   |                    |                  |                       | X                        |
| Recreación                                      | X                                               |                       |                   | X                  | X                                                 |                    |                  |                       |                          |
| <i>Principal zona de preocupación ambiental</i> |                                                 |                       |                   |                    |                                                   |                    |                  |                       |                          |
| Río arriba                                      | X                                               |                       |                   | X                  | X                                                 | X                  | X                |                       |                          |
| Río abajo y local                               |                                                 | X                     | X                 | X                  | X                                                 | X                  |                  | X                     | X                        |

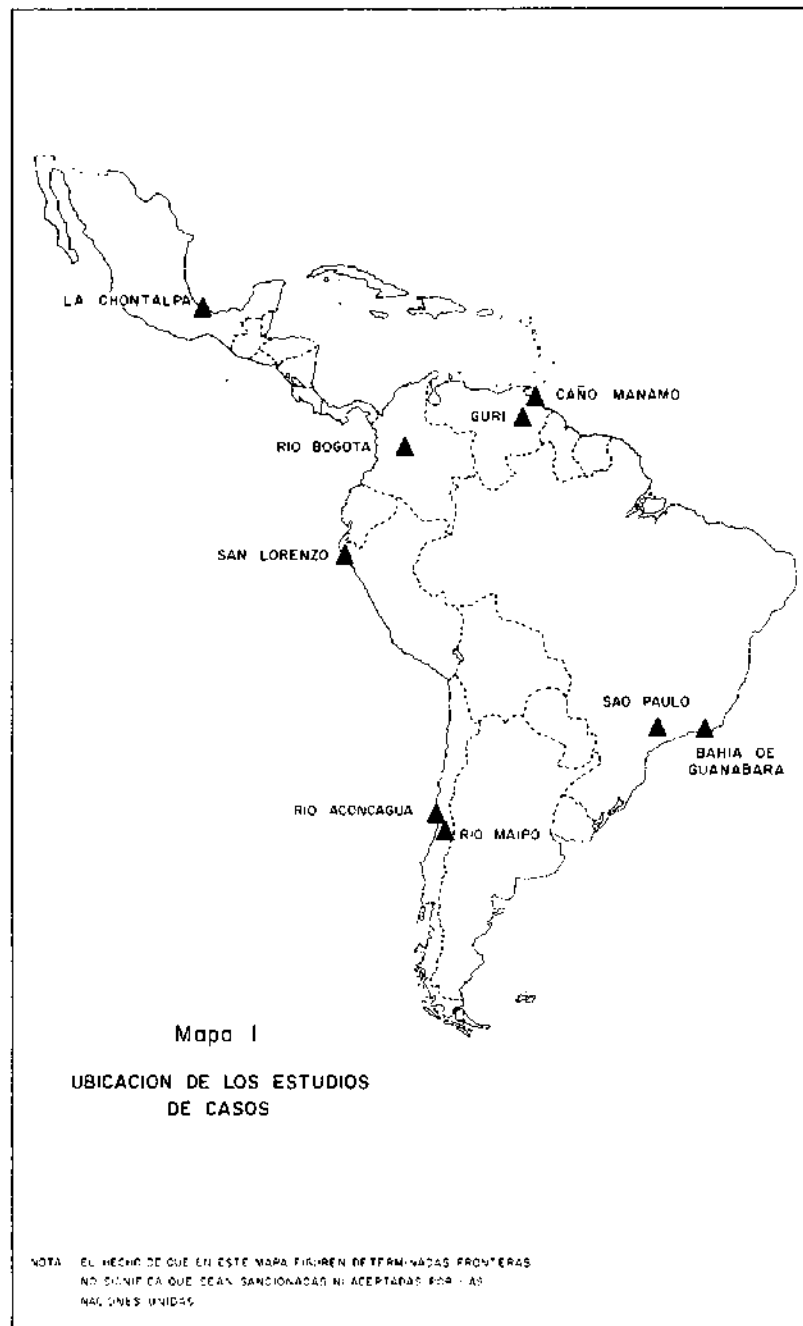
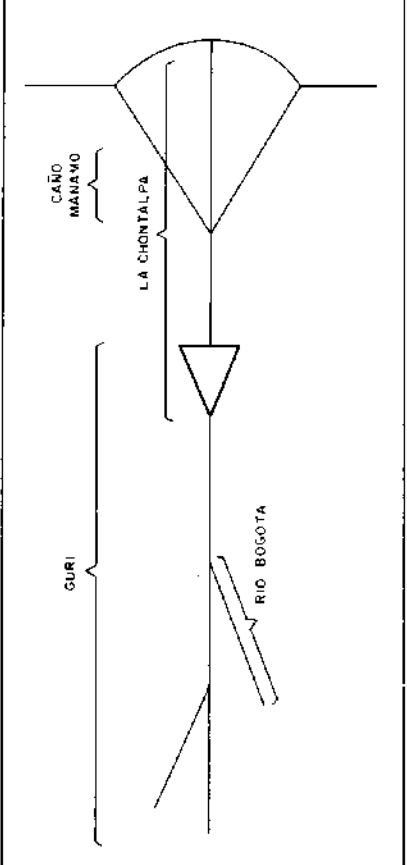
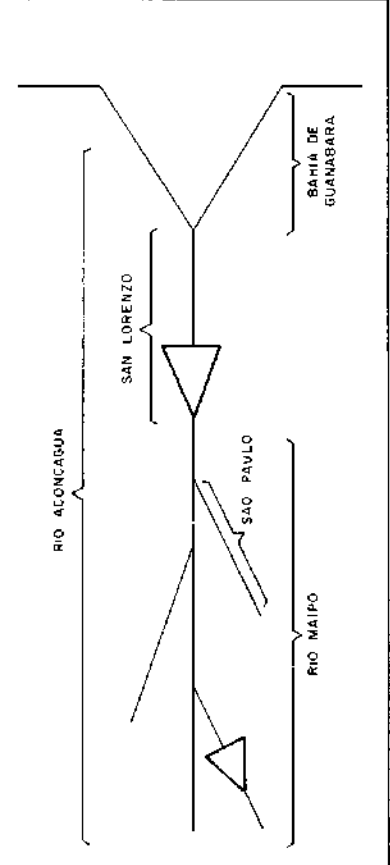


Gráfico 1

CASOS Y SISTEMAS DE CUENCAS HIDROGRAFICAS  
ESTUDIADAS

| SISTEMA DE CUENCA HIDROGRAFICA                                                     |                    |                                                                                     |                    |
|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| DE TIPO DELTA                                                                      |                    | DE TIPO ESTUARIO                                                                    |                    |
| ELEMENTO PRINCIPAL DEL SISTEMA                                                     |                    | ELEMENTO PRINCIPAL DEL SISTEMA                                                      |                    |
| OBRAS DE APROVECHAMIENTO (cosos)                                                   | USO URBANO (cosos) | OBRAS DE APROVECHAMIENTO (cosos)                                                    | USO URBANO (cosos) |
|  |                    |  |                    |

el punto de vista de los problemas de manejo y ambientales elegidos por cada autor. Estos criterios divergentes reflejan una realidad latinoamericana respecto al modo de enfocar los problemas de manejo del agua. Además, el estudio se enriquece con esta heterogeneidad, lo que probablemente no se habría logrado si se hubiera intentado imponer a los consultores un criterio analítico uniforme y rígido. No obstante, con fines de interpretación y análisis convendría presentar los casos dentro de un marco común, lo que se ha hecho en el capítulo II de la primera parte de este informe.

Todos los estudios de casos reflejan implícitamente en diversos grados el desempeño previo de las instituciones encargadas del uso o manejo del agua. Una investigación de esta índole envuelve casi inevitablemente una crítica de las decisiones tomadas previamente en este campo. Quienes emprenden un análisis *ex post* y exponen los errores cometidos producto de un conocimiento imperfecto de los acontecimientos futuros o de decisiones tomadas sobre la base de una información inadecuada, etc., se encuentran en una posición singularmente confortable. Debe quedar en claro desde un comienzo que los casos que figuran en el presente informe se han estudiado con el ánimo de aprender a partir de la experiencia, y no con el de efectuar críticas. Aparte de que el conocimiento imperfecto es inevitable, los valores y objetivos de los decisores cambian con el tiempo, impidiendo así la aplicación de criterios uniformes.

Por tanto, es evidente que el manejo del agua en América Latina se caracteriza porque debe enfrentar una amplia diversidad de situaciones en materia de recursos naturales, y también económicas, culturales e institucionales. El estudio de la información publicada y el análisis de un número limitado de casos no pueden pretender ofrecer una panacea. Sin embargo, se estima que podrían evaluarse algunos principios generales que servirían para sugerir nuevas orientaciones de política, y que ofrecerían un punto de partida para hacer una evaluación acumulativa destinada a mejorar paulatinamente las directrices de las decisiones sobre el manejo del agua.

### *3. La estructura del informe*

En esta introducción se han explicado los antecedentes de la investigación que precedió al informe, es decir, sus orígenes, objetivos, alcance y organización. El informe se divide en dos partes: la primera parte que consta de seis capítulos y contiene el análisis general y las conclusiones; y la segunda parte que se compone de nueve capítulos redactados por los consultores respectivos, cada uno de los cuales resume el estudio de casos original y presenta el grueso de los datos pertinentes.

En el capítulo I se compara el uso del agua —tanto el uso reciente como el proyectado— con la disponibilidad del recurso, a fin de dar una visión cualitativa general de qué clase de problemas ambientales podrán plantearse y en qué lugares, si se intensifica el uso del agua. Se expone asimismo el

marco institucional y jurídico vigente para el manejo del agua en la región. El capítulo es puramente descriptivo y no intenta hacer un diagnóstico de las causas y consecuencias de los problemas ambientales atribuibles a algún aspecto del manejo o el uso de los recursos hídricos; su principal objetivo es detectar las zonas en que podrían surgir presiones sobre los sistemas hídricos, con el propósito de colocar la interpretación de la experiencia proveniente de casos concretos de uso del agua en una perspectiva regional más amplia.

Dada la gran diversidad de criterios empleados tanto para describir como para evaluar los nueve sistemas hídricos que se eligieron para su examen, el capítulo II se remite a los informes de los consultores y a otra información para ofrecer al lector en cada caso una perspectiva coherente del sistema hídrico, sus usos y la capacidad de respuesta del manejo frente a las manifestaciones de daño ambiental. El capítulo III contiene una interpretación de la experiencia común recogida de los casos y una clasificación de las diferencias que presentan las diversas situaciones de manejo del agua y los problemas ambientales conexos. Lo relativo a la identificación de las dimensiones ambientales y su incorporación a la planificación y el manejo del agua se examina en los capítulos IV y V; los aspectos institucionales del establecimiento de objetivos y de la toma de decisiones se estudian en el capítulo IV y lo referente al análisis destinado a respaldar las decisiones de manejo, en el capítulo V.

Un tema iterativo, si bien implícito en muchos casos, es la sugerencia de que se haga hincapié en el despliegue creativo de los recursos científicos y analíticos para apoyar la planificación y el manejo y la identificación de modificaciones institucionales viables. Por tal motivo, se incluye en el anexo A una nota sobre la investigación y evaluación de las relaciones entre el manejo del agua y el medio ambiente.

Las conclusiones generales y las recomendaciones que emanan de la yuxtaposición de los análisis específicos contenidos en los capítulos III, IV y V, así como la visión general de la situación latinoamericana que figura en el capítulo I, confluyen en el capítulo VI. Aunque no se intenta abordar las cuestiones relativas a la calidad del medio ambiente como problemas, y menos aún proponer soluciones, tales aspectos se analizan en el marco de su debida relación con la información, el análisis, la capacidad profesional y las modificaciones institucionales que harían posible que los aspectos ambientales se integraran de manera más efectiva a las decisiones sobre manejo de los recursos hídricos.

**Primera Parte**  
**ANALISIS GENERAL**

## Capítulo I

### **MODALIDADES Y TENDENCIAS DE LAS RELACIONES ENTRE EL AGUA, EL DESARROLLO Y EL MEDIO AMBIENTE EN AMERICA LATINA**

En América Latina en su conjunto, la presión de las actividades humanas sobre los recursos hídricos ha aumentado con mucha rapidez en los últimos años. A dicho aumento ha acompañado un cambio igual, o quizá mayor, en la composición de la demanda de agua y en la tecnología de aprovechamiento de la misma. La naturaleza del cambio no puede medirse directamente; sin embargo, puede llegar a apreciarse en parte considerando las modificaciones estructurales que han experimentado las economías de los países de América Latina y las variaciones en la distribución espacial de la población y de la actividad productiva.

Estos múltiples cambios en la magnitud, distribución espacial y estructura de la actividad económica y de la población han repercutido en los recursos hídricos a través de la mayor intervención humana en el régimen hidrológico y en el ecosistema acuático. La actividad humana ha producido las modificaciones principales en la calidad del agua al utilizar cada vez más sistemas de eliminación de desechos industriales y domésticos a través del agua, y al interferir en el ciclo hidrológico mediante la regulación del caudal de las corrientes de agua, y expandir las zonas urbanas y agrícolas. La creación de lagos artificiales, y las consiguientes alteraciones en los regímenes de los caudales, tienen consecuencias ambientales a veces más trascendentes que el efecto transitorio de los elementos contaminantes. Sin embargo, el régimen de las corrientes de agua no sólo es afectado por las obras de regulación, sino también por el riego y el avenamiento y por cambios en el uso de la tierra. Las zonas urbanas y las tierras arables y de pastoreo aumentan la rapidez del escurrimiento. Un escurrimiento más rápido tiende a extremar los máximos y mínimos de los caudales, a aumentar la carga de sedimentos y, en general, a contrarrestar los beneficios que se esperan de una mayor regulación.

Desde el punto de vista del aprovechamiento del agua, el cambio más significativo en la estructura económica ha sido el papel cada vez más importante que ha desempeñado la industria manufacturera en la mayor parte de las economías de la región. En América Latina en su conjunto, en que la producción alcanza a más del doble de la de 1960, el aporte del sector manufacturero al producto nacional bruto se elevó de 21.7% en ese año a 25.9% en 1973. Al mismo tiempo, a medida que ha aumentado la importancia de las manufacturas ha cambiado la estructura del sector. En 1971, el valor agregado por la industria manufacturera de bienes intermedios y de capital igualó al agregado por la de alimentos y otros bienes de consumo no duraderos.<sup>13</sup> Son las industrias de bienes de capital e intermedios las que acaparan el uso industrial del agua y producen los volúmenes de desechos mayores y más complejos.

La expansión y cambio estructural del sector industrial ha ido a parejas con un cambio considerable en la distribución de la población entre el campo y la ciudad. Hoy América Latina es tan urbana como rural: en 1970 más del 40% de la población vivía en centros urbanos de más de 20.000 habitantes. (Véase el Cuadro I-1.) La naturaleza del cambio en la distribución de la población no ha sido la misma en todos los países; en muchos de ellos —aun sin haberse modificado la distribución de la población— el solo crecimiento de ésta ha transformado la relación del hombre con su medio ambiente. En muchas partes la presión demográfica en las zonas rurales se hizo mayor a medida que la densidad de la población aumentó más de 50% entre 1950 y 1970. Lo anterior resulta particularmente cierto en los países más pobres y menos desarrollados de América Latina y, dentro de ellos, en las regiones de menor desarrollo relativo.

A pesar de haber merecido muchos comentarios, el alcance y el sentido de estos cambios para el manejo de los recursos hídricos no se han medido, catalogado ni analizado adecuadamente. En este capítulo se presenta dicho análisis, aunque con carácter bastante preliminar. No se intenta tan sólo colocar los estudios detallados de casos particulares en un marco apropiado a fin de hacer ver su importancia como muestras de la diversa realidad regional; se espera además proporcionar un esbozo general de la naturaleza de los aspectos ambientales del manejo de los recursos hídricos en la América Latina contemporánea.

En este capítulo se tratan tres temas principales: la naturaleza de los sistemas hidrológicos de la región; la relación cambiante entre el aprovechamiento del agua y el medio ambiente, teniendo particularmente en cuenta sus efectos sobre la salud humana; y una reseña de los sistemas de manejo de agua vigentes en América Latina.

<sup>13</sup> Naciones Unidas, CEPAL, *La industrialización latinoamericana en los años setenta*, Cuadernos de la CEPAL N° 8, Santiago, 1975.

Cuadro I-1

## AMERICA LATINA: ALGUNAS CARACTERISTICAS DE LA POBLACION

|                                                                                      | 1950    | 1960    | 1970    |
|--------------------------------------------------------------------------------------|---------|---------|---------|
| Población total (miles)                                                              | 164 170 | 216 285 | 284 324 |
| Población urbana (miles) <sup>a</sup>                                                | 39 686  | 69 357  | 113 163 |
| Porcentaje de población en zonas urbanas <sup>a</sup>                                | 24.2    | 32.1    | 39.8    |
| Porcentaje en población en unidades administrativas densamente pobladas <sup>b</sup> | 42.7    | 51.2    | 65.5    |

Fuente: CELADE, *Boletín demográfico*; varios números.

<sup>a</sup> Asentamientos de más de 20 000 habitantes.

<sup>b</sup> Unidades administrativas con una densidad de población de más de 25 personas por kilómetro cuadrado. No incluye Barbados, Belice, Guayana Francesa, Guyana, Jamaica, Puerto Rico, Suriname y Trinidad y Tabago.

## 1. Las características del abastecimiento de agua

América Latina es una región esencialmente húmeda, pese a que existen en ella zonas muy áridas (el desierto de Atacama, por ejemplo, es el más seco de la tierra). No debe sorprender entonces que hasta hace muy poco el agua se considerara — más aún quizás que en el resto del mundo — un recurso abundante. En América Latina y el Caribe, la precipitación media anual (1 500 milímetros) es superior en un 60% al promedio mundial, y el escurrimiento medio anual (370 000 metros cúbicos por segundo) constituye un 30% del total mundial.

## a) El clima

Tres factores principales determinan el clima latinoamericano: la vasta gama de latitudes que abarca la región, desde 30° al norte a 50° al sur, (aunque más de la mitad de la zona está dentro de los trópicos); la barrera que para el movimiento de las masas de aire representa la elevada cadena montañosa de Los Andes, que se prolonga a lo largo de casi toda América del Sur; y en las zonas costeras, las corrientes marinas, tanto cálidas como frías. La importancia de estas últimas es mayor debido a la ubicación próxima al litoral de la mayor parte de la población.

Alejándose de la línea del Ecuador, las temperaturas anuales dismi-

nuyen y aumentan las variaciones estacionales. Sin embargo, al sur del Ecuador y en la misma latitud la costa del Pacífico es siempre más fría que la del Atlántico. Otra característica de la costa occidental (tanto norte como sur) que influye fuertemente sobre el régimen climatológico consiste en rápidos cambios de altura y de exposición a los fenómenos meteorológicos debidos a la cordillera. En general, la América Latina tropical carece de nieves, pero la Cordillera de Los Andes permite la yuxtaposición de extremos de selva tropical y de nieves eternas, como en la Sierra Nevada de Santa Marta, cerca de Barranquilla, Colombia. Las bajas temperaturas restringen la actividad agrícola sólo en las zonas más elevadas de los Andes y en el extremo septentrional de América del Sur, en Argentina y Chile.

La lluvia es el elemento climático más importante. La región en conjunto presenta enormes diferencias en cuanto a la lluvia caída, que va desde un promedio de largo plazo de 1 mm en Arica (Chile), hasta un promedio de casi 8 000 mm en Quibdó, Colombia. La regularidad de la precipitación tiende a estar en relación inversa con la cantidad de la misma.<sup>14</sup> Las zonas de mayor escasez de lluvia son relativamente limitadas en extensión. La baja densidad demográfica aminora los efectos de la creciente irregularidad y escasez de las precipitaciones en las zonas más secas, aunque Ciudad de México, Lima y Santiago se encuentran en tales regiones extremas (véase el cuadro I-2), en tanto que más del 90% de la población latinoamericana vive en zonas que reciben entre 500 y 2 000 milímetros de precipitación y tienen una densidad demográfica que se aproxima a 25 personas/km<sup>2</sup>. En cambio, las zonas más húmedas, situadas en el centro de América del Sur y en la costa caribeña del istmo centroamericano y que abarcan casi 40% de la región, con una precipitación que oscila entre 1 500 y 4 000 milímetros, tienen una densidad que equivale a alrededor de un décimo de este nivel.

#### b) *Los sistemas hidrológicos de América Latina*

Desde el punto de vista del manejo y sobre todo de la calidad del agua, es tal vez favorable que la mayor parte de la población latinoamericana resida en las zonas costeras (véase el mapa I-1). Incluso donde existen grandes concentraciones de actividades humanas en el interior, pocas están lejos de la costa. En general, los grandes sistemas fluviales se utilizan poco y aunque un número creciente de cuerpos de agua, especialmente ríos y algunos de los lagos más grandes, se están utilizando solamente como vertederos de residuos humanos e industriales, la demanda a escala regional es todavía pequeña.

Los sistemas fluviales latinoamericanos pueden dividirse en tres tipos principales: los grandes sistemas que fluyen hacia el Atlántico y mares

<sup>14</sup> La zona costera del nordeste del Brasil constituye la única excepción a esta tendencia general. (Véanse Fortaleza, Recife y Salvador-Bahía, en el cuadro I-2.)

adyacentes, los ríos cortos y rápidos que vacían en el Pacífico y las corrientes irregulares de las cuencas cerradas. A pesar de su elevada precipitación, las islas del Caribe carecen de ríos caudalosos. La mayor parte de los ríos son de origen únicamente pluvial, y sólo las cuencas superiores de los ríos andinos, al sur del paralelo 28, reciben una cantidad considerable de agua proveniente de glaciares y deshielos. Por esta razón, las variaciones de la cantidad de lluvia caída tienen importantes efectos sobre los caudales, aunque dicho efecto disminuye en los complejos regímenes de los grandes sistemas fluviales.

Cuadro I - 2

AMERICA LATINA: ZONAS METROPOLITANAS Y PRECIPITACION

| Zonas metropolitanas | Población<br>estimada, 1975<br>(miles) | Precipitación             |                                |
|----------------------|----------------------------------------|---------------------------|--------------------------------|
|                      |                                        | Variación<br>(porcentaje) | Promedio anual<br>(milímetros) |
| Lima-Callao          | 3 901                                  | 40                        | 29                             |
| Santiago             | 3 063                                  | 30 - 40                   | 322                            |
| Ciudad de México     | 10 942                                 | 15 - 20                   | 589                            |
| Monterrey            | 1 570                                  | 30 - 40                   | 714                            |
| Caracas              | 2 673                                  | 20 - 25                   | 820                            |
| Guadalajara          | 1 970                                  | 20 - 25                   | 953                            |
| Bogotá               | 3 461                                  | 10 - 15                   | 986                            |
| Buenos Aires         | 9 332                                  | 10 - 15                   | 992                            |
| Montevideo           | 1 559                                  | 10 - 15                   | 1 050                          |
| Cali                 | 1 241                                  | 10                        | 1 154                          |
| La Habana            | 2 269                                  | 10                        | 1 157                          |
| São Paulo            | 9 965                                  | 10                        | 1 270                          |
| Porto Alegre         | 1 809                                  | 15 - 20                   | 1 291                          |
| Fortaleza            | 1 185                                  | 30 - 40                   | 1 401                          |
| Medellín             | 1 427                                  | 10                        | 1 410                          |
| Recife               | 1 967                                  | 30 - 40                   | 1 437                          |
| Belo Horizonte       | 2 001                                  | 10                        | 1 562                          |
| Río de Janeiro       | 8 325                                  | 10 - 15                   | 1 590                          |
| Salvador (Bahía)     | 1 306                                  | 25 - 30                   | 1 892                          |

Fuentes: Población - Naciones Unidas, División de Población, *Trends and Prospects in the Populations of Agglomerations, 1950 - 2000, as Assessed in 1973 - 1975*, Nueva York; precipitación - Alberto R. Martínez, *La meteorología e hidrología para el desarrollo de los recursos hidráulicos de América Latina*, CEPAL/TA/24, diciembre de 1973.



Los tres sistemas fluviales más grandes de la región son el Amazonas, el Orinoco y el Río de la Plata, y sus caudales combinados representan más de dos tercios del escurrimiento total de la región. (Véase el mapa I-2.) Todos estos sistemas fluyen hacia el Atlántico. Los sistemas fluviales de la vertiente del Pacífico de América del Sur son mucho más pequeños y, debido a la aridez de la zona central, representan sólo una proporción relativamente pequeña del escurrimiento regional total, proporción que es menor aún en las cuencas fluviales cerradas del altiplano y de Argentina. Sin embargo, los caudales más variables se encuentran en la región, de 700 000 km<sup>2</sup>, del nordeste de Brasil. Los ríos de esta región se caracterizan por la gran irregularidad de su régimen, no sólo entre las estaciones lluviosas y secas sino también de un año a otro.<sup>15</sup>

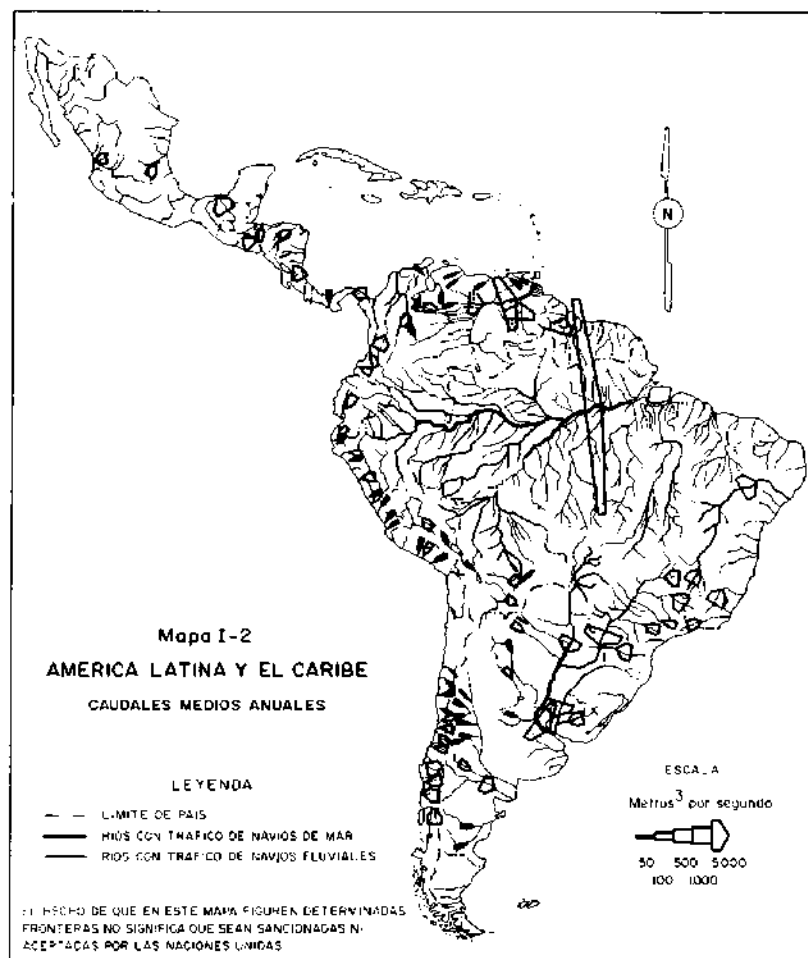
En México y en América Central, la división de la masa terrestre entre las cuencas hidrográficas del Atlántico y del Pacífico es más pareja (1.04 y 1.08 millones de km<sup>2</sup> respectivamente); y 300 000 km<sup>2</sup> adicionales pertenecen a las cuencas cerradas mexicanas. Sin embargo, aquí también el caudal se distribuye en forma desigual: 70% del escurrimiento va al Golfo de México y al Caribe. Los contrastes más pronunciados se dan en México, donde más de la mitad del caudal total se concentra en menos del 10% de la superficie terrestre del país, en los ríos del sudeste, Papaloapan, Coatzacoalcos, Tonalá y Grijalva-Usumacinta.

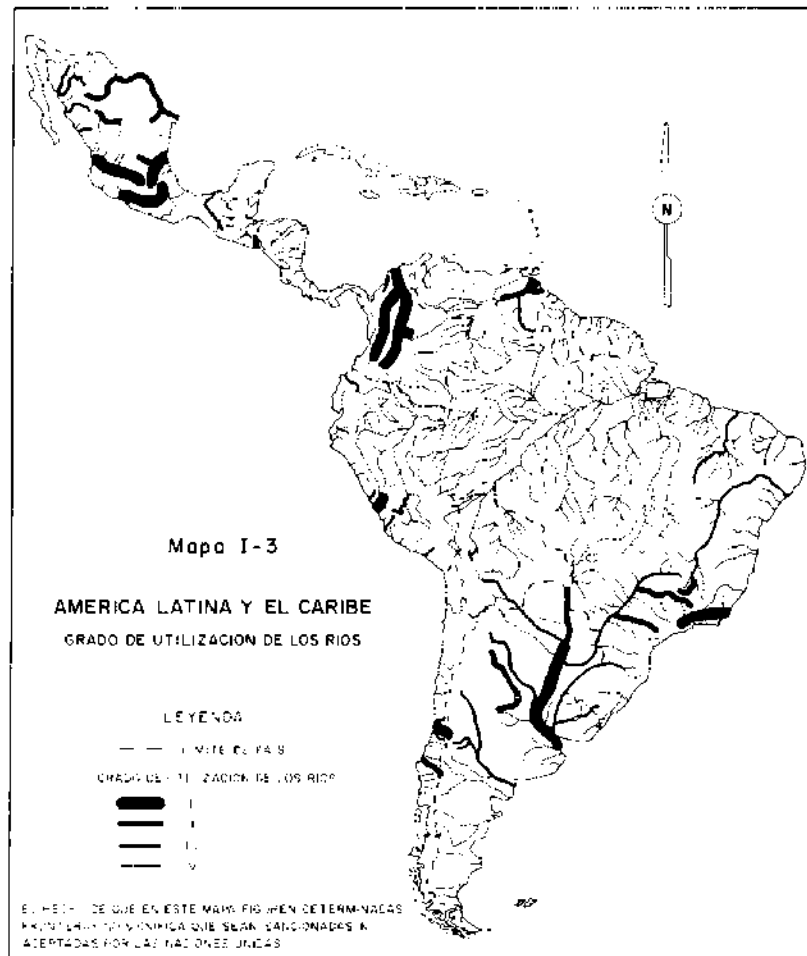
## *2. Las modalidades de uso del agua*

En América Latina el uso del agua está muy disperso y sólo se concentra en algunas zonas (véase el mapa I-3). En general, la acción del hombre sobre los ríos se limita a la regulación de su caudal y a variaciones en la utilización de la tierra en las cuencas. En cambio, los sistemas hidrológicos costeros, los estuarios y bahías, se utilizan ampliamente para la recepción de desechos, a la vez que inciden también en ellos los cambios en el uso de la tierra y las obras de regulación tanto aguas arriba como en su vecindad inmediata.

Lamentablemente, se dispone de escasa información sobre los recursos hídricos y por este motivo no es posible generalizar acerca de las tendencias de la presión humana que experimentan. El mejor índice de dicha presión quizás sea la población, incluso si se tienen en cuenta las diferencias relativas de la estructura productiva de las economías regionales y el distinto efecto de las diversas actividades sobre los recursos hídricos. Las principales características de la evolución demográfica en América Latina han sido el rápido aumento de la población, su concentración creciente en centros urbanos y los fuertes incrementos de su densidad en las zonas ya

<sup>15</sup> Por ejemplo, a veces el déficit anual de agua alcanza, en promedio, a más de 1 000 mm en esta región, mientras que casi toda la zona tiene un déficit de más de 600 mm. (Véase Brasil, Ministerio de Agricultura, Departamento Nacional de Meteorología, "Balanco Hídrico do Brasil", Río de Janeiro, 1972.)





más pobladas. (Véase de nuevo el cuadro I-1.) La distribución de las zonas más densamente pobladas y de las ciudades con más de 100 000 habitantes revela claramente esta última característica (véase de nuevo el mapa I-1).

Las zonas más densamente pobladas pueden dividirse en cuatro clases. Las tres primeras son: las zonas urbanas de crecimiento rápido producido por la inmigración, las zonas rurales con altas tasas de crecimiento de la población, y unas pocas zonas rurales intermedias cercanas a los principales centros industriales urbanos y con población relativamente estable; y la cuarta -de menor extensión espacial, pero que produce cambios espectaculares en el uso del agua- constituida por los llamados polos de crecimiento, como ciudad Guayana en Venezuela y Paz del Río en Colombia. Cada una de estas zonas presenta una modalidad diferente de aprovechamiento del agua y una característica principal que la distingue en la relación entre el uso del agua por parte del hombre y el medio ambiente. En la primera y la cuarta clases de zona, la relación se caracteriza por la contaminación y por la demanda de agua para fines de esparcimiento; en la segunda, por alteraciones en el régimen hidrológico debidas a la erosión, con las consiguientes crecidas y sedimentación en las zonas de mayor precipitación; y en la tercera, por la necesidad de controlar el régimen hidrológico y regular así la disponibilidad de agua para intensificar la producción agrícola. Sin embargo, en cada caso la relación tiene otros aspectos significativos: en los primeros dos casos la existencia de enfermedades transmitidas por el agua; en todos los casos, los efectos producidos por represas y otras obras de control de caudales; y en el último la contaminación de los cursos de agua con fertilizantes y otros productos químicos para la agricultura.

a) *El agua, la calidad del medio ambiente y la expansión urbana*<sup>16</sup>

Si bien es cierto que en América Latina toda gran región metropolitana tiene una relación con el recurso hídrico que le es peculiar, existen ciertos rasgos comunes a todas las regiones metropolitanas. Dichas semejanzas aumentan si la comparación se limita a aquellas situadas en zonas geográficas similares, o de tamaño comparable. Ya se ha mencionado la diversa naturaleza de los problemas de eliminación de desechos en las metrópolis costeras y en las del interior. Es evidente que los problemas de una población de dos millones de personas no son los mismos que los de una de diez. Asimismo, el problema del manejo del agua varía con la densidad del desarrollo urbano, de modo que la situación a este respecto en la árida Lima es distinta a la de la lluviosa ciudad de Recife. Sin embargo, el cambio cualitativo y cuantitativo en el problema del manejo es semejante

<sup>16</sup> Este apartado se basa en un informe preparado para PNUMA/CEPAL como parte del proyecto ADEMA por el consultor José Pérez Carrión, titulado *Estudio de usos sanitarios y causas de la contaminación del agua en América Latina*, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), Lima, febrero de 1976.

en Buenos Aires, La Habana o Medellín. Para entender el fenómeno en su conjunto, es necesario prestar especial atención a este aspecto más amplio del manejo del agua.

Las regiones metropolitanas latinoamericanas muestran una característica común en cuanto al uso del agua: la mayor demanda para uso doméstico, municipal e industrial. Esto ha hecho necesario aprovechar fuentes de agua cada vez más distantes, y ha disminuido los niveles de agua subterránea y ocasionado considerables demoras en el abastecimiento público. No sorprende que el consumidor particular se haya perjudicado con esta situación; a pesar de los avances de los últimos años, una proporción considerable de la población de las grandes zonas metropolitanas sigue sin tener abastecimiento regular de agua potable en sus domicilios.<sup>17</sup>

De la expansión de la demanda de agua para uso doméstico e industrial se colige que ha aumentado la descarga de desechos en el agua, tanto en cuanto a volumen como al grado de concentración de los elementos contaminantes. En general a este aumento de la descarga de desechos no ha acompañado una ampliación del sistema de alcantarillas o de las instalaciones de tratamiento. La consecuencia evidente de esta situación es la contaminación de los cursos de agua, características de todas las regiones metropolitanas de América Latina. Incluso en los casos en que la descarga va directamente al mar, en todos los centros urbanos de más de 100 000 habitantes casi sin excepción se produce contaminación local. Esto no implica sugerir la aplicación generalizada de medidas de carácter urgente. Esta contaminación no constituye todavía una amenaza para otros usos del agua. Sin embargo, si se cumplen los objetivos de abastecimiento de agua y de alcantarillado convenidos por los países, tales descargas aumentarán rápidamente de aquí a fines de siglo.

Asimismo, a medida que la industria crece y la masa de la población alcanza mayores niveles de consumo, la concentración de elementos contaminantes será aún mayor. Como la capacidad contaminante de los procesos industriales varía y la capacidad de los cuerpos de agua para dispersar contaminantes, sumada a la importancia relativa de la contaminación en cada caso, presenta también amplias diferencias, es difícil sacar conclusiones precisas sobre las consecuencias de este aumento de contaminantes. Cabría especular sobre la composición variable de los efluentes a medida que la estructura industrial deriva hacia productos como las sustancias químicas o los plásticos; o sobre las consecuencias de un aumento de las

<sup>17</sup> En el Plan Decenal de Salud para las Américas aprobado en la Tercera Reunión Especial de Ministros de Salud de las Américas, en Santiago de Chile (1972), se estipula como objetivo de abastecimiento doméstico de agua para las zonas urbanas el de proporcionar servicios de agua con conexión domiciliaria para un 80% de la población, o bien, como mínimo, proporcionar dichos servicios a la mitad de la población que hoy carece de ellos. (Véase Organización Panamericana de la Salud Plan Decenal de Salud para las Américas, Informe Final de la III Reunión Especial de Ministros de Salud de las Américas, Documento Oficial N° 118, Washington D.C., enero de 1973, p. 103.)

actividades mineras extractivas sobre todo en las zonas más secas.

En las grandes zonas metropolitanas (véase el cuadro I-3) las situaciones del abastecimiento de agua y de la descarga de desechos son muy diferentes en detalle; pero mientras se mantenga la actual tendencia en la ubicación y aumento de la población y de la actividad industrial cabe prever que la demanda de abastecimiento de agua y el volumen de la descarga de desechos se triplicarán a fines del siglo.

Los centros metropolitanos inciden en los recursos hídricos principalmente a través de la demanda de abastecimiento de agua y el volumen de residuos eliminados, pero no son éstas sus únicas repercusiones. Las grandes concentraciones de población y de actividad industrial crean demandas de avenamiento de zonas pantanosas, de protección contra las crecidas para las zonas edificadas, de aumento del escurrimiento de terrenos urbanizados, y otros cambios similares del régimen hidrológico. Los ejemplos son muchos: el relleno de los bordes de la Bahía de Guanabara, la expansión de Guayaquil hacia los pantanos de los estuarios del Guayas, la canalización de casi todas las corrientes en zonas urbanas y la sostenida expansión de terrenos cubiertos de edificios, autopistas y otras construcciones urbanas. Se estima que, en caso de mantenerse las tendencias actuales, dentro de veinticinco años la zona urbanizada de América Latina y el Caribe será mayor que la superficie de El Salvador. (Véase el cuadro I-4.)

Por último, las grandes regiones metropolitanas tienen influencia por que son zonas de ingresos personales relativamente altos, lo que lleva a la concentración de la demanda de ciertos bienes de consumo y de ciertos servicios. En particular, esta concentración crea fuertes necesidades de esparcimiento, que en gran medida se relacionarán siempre con los recursos hídricos. Dicha demanda exige a su vez que el agua sea de buena calidad, y por consiguiente hace necesario proteger los cursos de agua contra la contaminación. En forma menos directa, la utilización de ciertas zonas para fines de esparcimiento puede ser incompatible con otros usos o destruir los componentes más frágiles del ecosistema acuático.

#### b) *La regulación de caudales*

El crecimiento de la población y el desarrollo económico no sólo inciden en el uso del agua a través de la demanda creada por los principales centros urbanos. El control y la regulación del caudal fluvial aumentan asimismo con el desarrollo, debido al incremento de la generación de energía hidroeléctrica, del riego, la navegación, la necesidad de proteger contra las crecidas las zonas de uso agrícola más intensivo, etc. Tales usos hacen necesaria la construcción de represas, la formación de embalses, el cambio de curso de los caudales, sea hacia canales artificiales o entre cuencas hidrográficas, la canalización de los lechos de los ríos, la construcción de diques y otras obras de protección, todo lo cual originará cambios en las modalidades espaciales o temporales de los caudales.

Cuadro E-3

**AMERICA LATINA: COBERTURA DE LOS SERVICIOS BASICOS  
EN LAS CIUDADES PRINCIPALES**

| Ciudad           | Población (mil)    |                    |        | Agua potable                           |                          | Alcantarillado<br>cobertura<br>(porcentaje) <sup>a</sup> | Descarga<br>de agua<br>servida<br>estimada<br>1975<br>(m <sup>3</sup> /seg.) | Cuerpo receptor              |
|------------------|--------------------|--------------------|--------|----------------------------------------|--------------------------|----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|
|                  | 1950               | 1975               | 2000   | Cobertura<br>(porcentaje) <sup>a</sup> | Dotación<br>(l/h/d)<br>b |                                                          |                                                                              |                              |
| México, D.F.     | 3 050              | 6 874              | 31 616 | 79                                     | 360-527                  | 58-69                                                    | 54                                                                           | Ríos Tula y Lerma/Panuco     |
| São Paulo        | 2 327 <sup>c</sup> | 7 904 <sup>c</sup> | 26 045 | 55                                     | 270-293                  | 30-35                                                    | 22                                                                           | Río Tiete y Lago Billings    |
| Buenos Aires     | 4 928              | 8 346              | 13 978 | 68                                     | 630                      | 50                                                       | 96                                                                           | Río La Plata y afluentes     |
| Río de Janeiro   | 3 034 <sup>c</sup> | 6 935 <sup>c</sup> | 19 383 | 82                                     | 188-684                  | 60                                                       | 34                                                                           | Bahía Guanabara y Oc. Atlc.  |
| Lima-Callao      | 975                | 3 255              | 12 130 | 80                                     | 359                      | d                                                        | 16                                                                           | Océano Pacífico              |
| Bogotá           | 715                | 2 696              | 9 527  | 71                                     | 304                      | 70                                                       | 10                                                                           | Río Bogotá                   |
| Guadalajara      | 378                | 1 194              | 6 176  | 90                                     | 314                      | 78                                                       | 8                                                                            | Río Santiago                 |
| Caracas          | 495                | 1 035              | 5 963  | 75-100                                 | 300-388                  | 56                                                       | 11                                                                           | Ríos Guaíra y Tuy            |
| Belo Horizonte   | 412 <sup>c</sup>   | 1 527 <sup>c</sup> | 5 732  | 58                                     | 261                      | 18-62                                                    | 4                                                                            | Río das Velhas y otros       |
| Santiago         | 1 350              | 2 731              | 5 119  | 68-90                                  | 300-555                  | 47                                                       | 14                                                                           | Río Mapocho                  |
| Monterrey        | 333                | 858                | 4 751  | 90                                     | 404                      | 60                                                       | 7                                                                            | Río Santa Catarina           |
| Recife           | 512                | 1 070              | 4 654  | 61                                     | 267                      | 14                                                       | 5                                                                            | Océano Atlántico             |
| La Habana        | 1 099              | 1 751              | 4 451  | 97                                     | 500                      | 56                                                       | 16                                                                           | Golfo de México              |
| Curitiba         | 138                | 498                | 4 353  | 72                                     | 345                      | 26                                                       | 5                                                                            | Río Belem                    |
| Medellín         | 328                | 1 071              | 3 743  | 80                                     | 340                      | 79                                                       | 6                                                                            | Río Medellín                 |
| Cali             | 241                | 898                | 3 428  | 87                                     | 237                      | 81                                                       | 4                                                                            | Río Cauca                    |
| Salvador (Bahía) | 389                | 1 018              | 3 174  | 66                                     | 266                      | 0                                                        | 3                                                                            | Océano Atlántico             |
| Guayaquil        | 259                | 814                | 3 109  | 60                                     | 429                      | d                                                        | 4                                                                            | Río Guayas y Estuario Salado |
| Montevideo       | 910                | 1 230              | 2 233  | 90                                     | 289                      | 68                                                       | 6                                                                            | Océano Atlántico             |
| Quito            | 210                | 597                | 1 841  | 85                                     | 286-301                  | d                                                        | 2                                                                            | Río Guallabamba              |
| Barranquilla     | 276                | 661                | 1 808  | 68                                     | 148                      | 55                                                       | 1                                                                            | Río Magdalena                |
| La Paz           | 267                | 675                | 1 649  | 65                                     | 177                      | 30                                                       | 1                                                                            | Río de La Paz                |
| Asunción         | 203                | 393                | 1 637  | 52                                     | 160-350                  | d                                                        | 1                                                                            | Río Paraguay                 |
| Maracaibo        | 236                | 652                | 1 521  | 54-87                                  | 475                      | d                                                        | 3                                                                            | Lago Maracaibo               |
| Córdoba          | 370                | 791                | 1 338  | 75                                     | 435                      | 25                                                       | 4                                                                            | Río Primero                  |
| San José         | 142                | 359                | 1 143  | 95                                     | 423                      | d                                                        | 3                                                                            | Río Virilla                  |

**Fuentes:** Población: 1950 y 1975, CELADE, *Boletín Demográfico*, año X, N° 19, Santiago, Chile, enero de 1977, año 2000, Naciones Unidas, División de Población, *Trends and Prospects in the Population of Agglomerations, 1950-2000, as Assessed in 1975-1975*, Nueva York; Agua potable y alcantarillado: estimaciones de la CEPAL sobre la base de estadísticas oficiales de los países, varios años recientes.

<sup>a</sup> En los casos en que las informaciones eran incongruentes, se indican los intervalos de variación.

<sup>b</sup> Litros por habitante al día.

<sup>c</sup> Licia Herrera y Waldomiro Pechl, *Crecimiento urbano de América Latina*, BID-CELADE, Santiago, 1976.

<sup>d</sup> Información no disponible.

AMERICA LATINA: SUPERFICIE URBANIZADA <sup>a</sup>

| Año  | Superficie urbanizada<br>(km <sup>2</sup> ) |                    |        | Porcentaje de la superficie total         |                    |       |
|------|---------------------------------------------|--------------------|--------|-------------------------------------------|--------------------|-------|
|      | México, Cen-<br>troamérica y<br>el Caribe   | América del<br>Sur | Total  | México, Cen-<br>troamérica y<br>el Caribe | América del<br>Sur | Total |
| 1950 | 776                                         | 2 344              | 3 120  | 0.029                                     | 0.013              | 0.015 |
| 1960 | 1 171                                       | 3 855              | 5 026  | 0.044                                     | 0.022              | 0.025 |
| 1970 | 2 737                                       | 7 177              | 9 914  | 0.103                                     | 0.041              | 0.049 |
| 1980 | 3 975                                       | 9 784              | 13 759 | 0.149                                     | 0.056              | 0.069 |
| 1990 | 6 030                                       | 13 795             | 19 826 | 0.226                                     | 0.079              | 0.099 |
| 2000 | 8 777                                       | 18 669             | 27 446 | 0.330                                     | 0.108              | 0.137 |

Fuente: Cálculos de la CEPAL basados en información y estimaciones del CELADE.

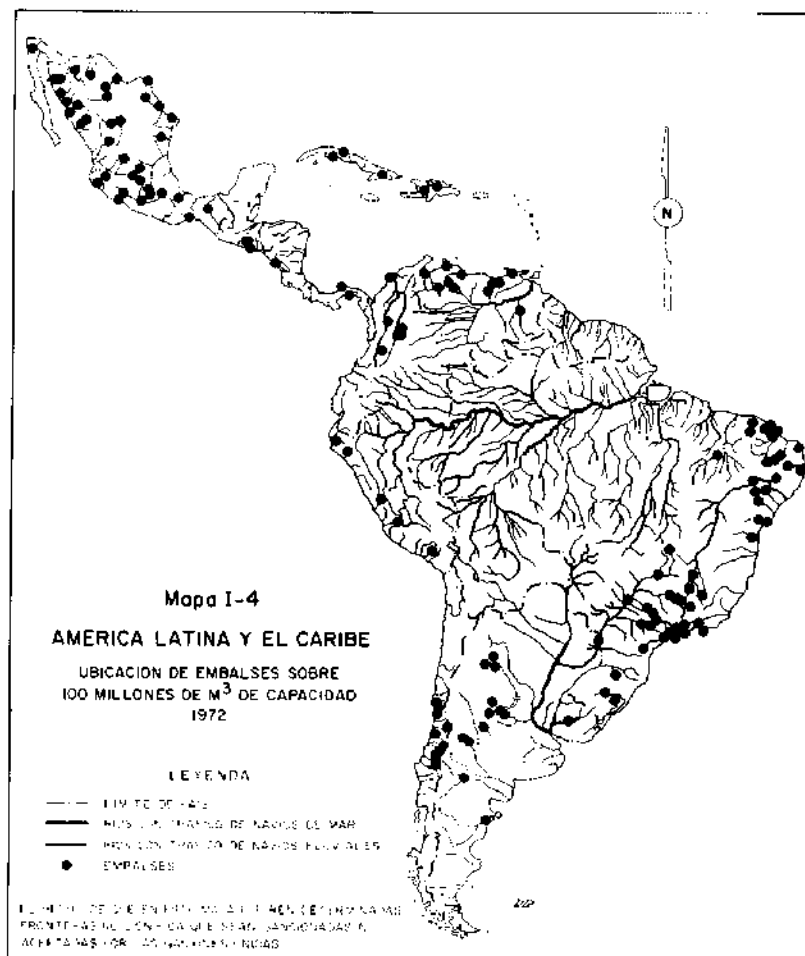
<sup>a</sup> No se incluyen países e islas que no son de habla española.

Las repercusiones de tales cambios han sido hasta ahora relativamente limitadas en la región y se han restringido a los sistemas fluviales relativamente pequeños. Sin embargo, la escala de las obras está cambiando como, por ejemplo, en la cuenca del Río de la Plata donde se está construyendo o proyectando una cadena de embalses y represas destinados a generar energía hidroeléctrica; estas obras son de gran envergadura, incluso consideradas a escala mundial. (Véase el mapa I-4.)

Los primeros embalses construidos en la región se remontan a la época colonial pese a que la regulación de caudales es mucho más antigua. <sup>18</sup> No obstante, en la mayoría de los países latinoamericanos la regulación fluvial en gran escala es un fenómeno que acontece en el siglo veinte y sobre todo en los últimos tres decenios. La información disponible sobre embalses y otras estructuras reguladoras es heterogénea. La única fuente estándar para la región es el registro de la Comisión Internacional de Grandes Represas. <sup>19</sup> Este registro revela que unos dos tercios de la capacidad que po-

<sup>18</sup> Por ejemplo, en México el embalse más antiguo en funcionamiento es Laguna Yuriria, construido en 1550.

<sup>19</sup> Comisión Internacional de Grandes Represas, *World Register of Dams*, París, 1973. Se incluyen las presas de más de 15 metros de altura, y las que tienen entre 10 y 15 metros de altura siempre que la longitud de su coronamiento sea superior a 500 metros, que su capacidad sea de 1 millón de m<sup>3</sup> o más, y que su capacidad de descarga de crecidas sea superior a 2 000 m<sup>3</sup>/segundo. El registro revela que la capacidad total de los embalses correspondientes a las grandes represas aumentó de 235 millones de metros cúbicos en 1902 a 246 660 millones de metros cúbicos en 1972. (Véase de nuevo el gráfico I-1.) Durante el mismo lapso el número de grandes embalses se elevó de 18 a 784. En 1972 había 236 193 millones de metros cúbicos de capacidad en construcción y otros 134 841 millones proyectados.



seían en 1972 los embalses correspondientes a las represas "grandes" se habían construido a contar de 1952 y que la capacidad actualmente en construcción o proyectada duplicará con creces la existente. (Véase el gráfico I-1.) Dicho ritmo de desarrollo se ve confirmado por datos más completos disponibles sobre presas (pero no sobre otras estructuras reguladoras) en México.<sup>20</sup>

En los últimos años, los grandes embalses se han construido en su mayoría para producir energía hidroeléctrica y, en general, se recurre a estructuras menores para los demás usos. En consecuencia, la distribución de los usos de los grandes embalses no es la típica de los embalses en su conjunto.<sup>21</sup> Lo más importante tal vez es que se subestima el efecto total de las estructuras reguladoras sobre el medio ambiente, que no depende sólo del tamaño. El número de embalses pequeños es mucho mayor y el efecto total sobre el régimen de caudales es probablemente muy superior, incluso si el almacenamiento total es menor.

A medida que ha aumentado el número de embalses ha aumentado también su capacidad media. Sin embargo, la información disponible sugiere que el volumen de almacenamiento que ofrece cada embalse ha llegado a su máximo. (Véase de nuevo el gráfico I-1.) Los embalses más grandes de América Latina han sido creados por las presas que se construyen para generar energía hidroeléctrica. La mayoría de ellas aún no se ha terminado y los embalses tienen todavía que llenarse. Se estima que la capacidad generadora de energía hidroeléctrica aumentará a una tasa de 8.20/o anual desde ahora hasta fines de siglo. La máxima concentración de tales obras se halla en los ríos de la Cuenca del Plata en Brasil, Paraguay, Argentina y Uruguay.

En cambio, si bien se ha construido un mayor número de presas para riego, se prevé que el ritmo de su crecimiento será mucho menor, por lo menos hasta 1985. Con todo, se estima que hay muchas zonas donde se podría ampliar el riego. En los países lluviosos en que se desconoce el

<sup>20</sup> Secretaría de Recursos Hidráulicos (SRH), Presas construidas en México, México D.F., 1976.

<sup>21</sup> Al menos, así ocurre en México:

**MEXICO: NUMERO DE EMBALSES CLASIFICADOS SEGUN SU USO, 1972**

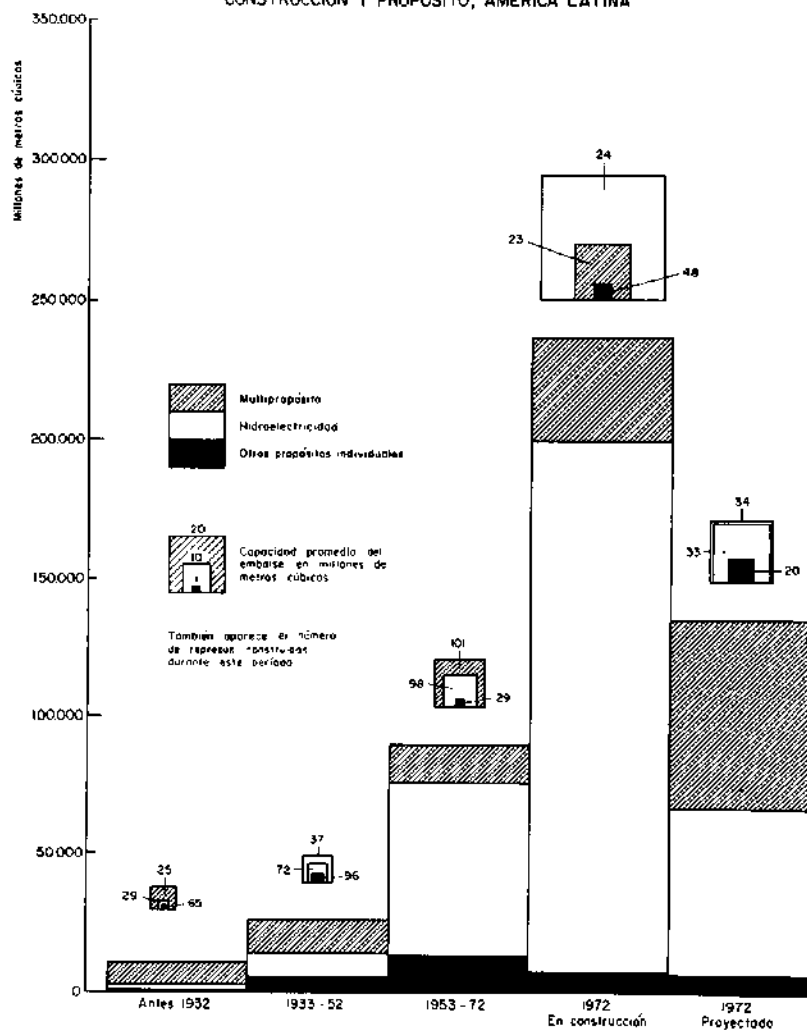
|                     | <i>Energía<br/>hidroeléctrica</i> | <i>Otros usos <sup>a</sup></i> | <i>Usos<br/>múltiples</i> | <i>Total</i> |
|---------------------|-----------------------------------|--------------------------------|---------------------------|--------------|
| Grandes<br>embalses | 23                                | 182                            | 42                        | 247          |
| Otros embalses      | 2                                 | 695                            | 29                        | 726          |

Fuente: *Plan Nacional Hidráulico*, SRH Subsecretaría de Planeación, México D.F., 1975.

<sup>a</sup> Casi todos construidos para almacenar agua de riego.

Gráfico 1-1

CAPACIDAD DE EMBALSES DETRAS DE LAS REPRESAS GRANDES, POR PERIODO DE CONSTRUCCION Y PROPOSITO, AMERICA LATINA



Fuente: International Commission for Large Dams

regadío, o al menos éste es insignificante, cunde el interés por el riego suplementario para lograr una segunda o tercera cosecha en la estación seca. La intensificación del uso en proyectos existentes puede conducir a una mayor demanda de almacenamiento, como en el caso de los proyectos Aconcagua y San Lorenzo. Incluso, aparte la mayor demanda de almacenamiento, los datos sobre las zonas regables proporcionan sólo una perspectiva parcial de los cambios futuros de la situación del uso del agua para el regadío. Gran parte del aumento previsto en la producción agrícola no se logrará mediante la expansión de la superficie sino a través de cambios en las combinaciones de factores, como mayores insumos de fertilizantes y pesticidas y el mejoramiento de la eficiencia en la utilización del agua. Estos cambios pueden acarrear consecuencias ambientales profundas, sobre todo en las regiones de agricultura de riego tradicional. En dichas zonas, el ecosistema se ha adaptado a una determinada modalidad de uso del agua, aunque ésta diste mucho del régimen natural original. La perturbación de esas modalidades puede provocar consecuencias más desestabilizadoras que los proyectos realizados en zonas no modificadas previamente debido a la necesidad de reorganizar complejos sistemas sociales e institucionales existentes.

En general, en América Latina como en otras partes, falta información sistemática sobre las repercusiones ambientales directas o indirectas de las actividades reguladoras de los regímenes hidrológicos. Por ejemplo, a pesar de la larga historia de los lagos artificiales en América Latina se ha avanzado poco en su estudio.<sup>22</sup> Sin embargo, es evidente que dicha regulación aumenta a un ritmo que exigirá respuestas adecuadas por parte del sistema de manejo; y así por ejemplo, la capacidad de almacenamiento ha venido aumentando a más de 100/o al año.

Lo mismo ha ocurrido, y más ampliamente, en relación con la frecuencia cada vez mayor del uso múltiple y sucesivo de los cursos de agua. En América Latina esta situación no ha tenido características que hicieran necesaria una intervención activa en el manejo de un río u otro cuerpo de agua; la intervención se ha limitado al manejo de determinados usos. Sin embargo, se está iniciando una nueva época, y el ritmo y el nivel de desarrollo obligan a tener en cuenta las repercusiones ambientales más amplias de las acciones del manejo del agua.

<sup>22</sup> Tal vez sea ilustrativo señalar que en el Simposio sobre Lagos Artificiales, celebrado en 1971 por el Consejo Internacional de Uniones Científicas se haya presentado un solo trabajo sobre un lago artificial latinoamericano: el Lago Brokopondo en Suriname. La presa de Salto Grande en el río Uruguay constituiría quizá una excepción. La Comisión Técnica Mixta de Salto Grande ha patrocinado una amplia variedad de estudios sobre los efectos ambientales de la presa y el embalse.

c) *El agua y la salud*

Un aspecto importante de la relación entre el agua y el medio ambiente humano es la existencia de enfermedades que se transmiten por el agua, las que pueden clasificarse en cuatro grupos principales:

- i) Enfermedades propagadas por ingestión de alimentos regados con aguas contaminadas (fiebre tifoidea o hepatitis infecciosa);
- ii) Enfermedades propagadas por contacto con aguas contaminadas (tracoma, sarna, disentería producida por *shigella*);
- iii) Enfermedades propagadas por contacto con organismos criados en el agua (esquistosomiasis, dracunculosis); y
- iv) Enfermedades propagadas por insectos que se crían en el agua (oncoseriosis, malaria).<sup>23</sup>

Las enfermedades pertenecientes a estos cuatro grupos están presentes en casi todos los lugares de América Latina. Tal vez las más graves son las enteritis y otras diarreas. Por su causa la mortalidad infantil sigue siendo alta en la mayor parte de la región; esas enfermedades constituyen la causa principal de muerte en 19 de los 34 países que pertenecen a la Organización Panamericana de la Salud. Es evidente que esta situación puede relacionarse directamente con las deficiencias en el suministro de agua para uso doméstico.<sup>24</sup> Otras enfermedades propagadas por ingestión de alimentos regados con aguas contaminadas tienen importancia en la región: particularmente otras formas de disentería, amebiana y bacteriana, que se encuentran en todos los países tropicales, así como la hepatitis infecciosa y la fiebre tifoidea, aún más extendidas. Esta última tiene gran incidencia en América del Sur, aunque ha tendido a disminuir en los últimos años.

Hay un importante grupo de enfermedades que no se relaciona con la contaminación del agua o de los alimentos, sino que con cambios de los regímenes hidrológicos. En general tales enfermedades, transmitidas en gran parte por insectos vectores que se desarrollan en determinados medios acuáticos, se presentan sólo en zonas tropicales. En América Latina, las enfermedades de este tipo son el dengue, la fiebre amarilla y la malaria. Sólo las zonas templadas se ven libres de ellas. No hay información sobre las vinculaciones entre la presencia de dichas enfermedades y acciones concretas relacionadas con el manejo del agua, pero debe tenerse en cuenta una conexión posible.

<sup>23</sup> Clasificación tomada de Gilbert T. White, David J. Bradley y Anne U. White, *Drawers of Water*, University of Chicago Press, Chicago, 1972.

<sup>24</sup> Un estudio de la Organización Panamericana de la Salud acerca de la mortalidad infantil muestra que la falta de servicios de agua está directamente vinculada a la excesiva mortalidad postneonatal y es una medida importante de las desfavorables condiciones ambientales. (Véase Organización Panamericana de la Salud.) *Patterns of Mortality in Childhood*, publicación científica, N° 262, Washington D.C., 1973, p. 134.

Las enfermedades propagadas por contacto con aguas contaminadas parecen tener escasa importancia en América Latina, pero una de ellas, la esquistosomiasis o bilharziasis, es endémica en grandes zonas húmedas de los trópicos de América del Sur y el Caribe. Se ha estimado que están infestadas más de seis millones de personas, en su mayor parte habitantes de las zonas rurales.<sup>25</sup> Existe insuficiente información sobre la presencia de esta enfermedad, pero en África se ha documentado bien la relación entre ésta y la construcción de embalses y especialmente de redes de avenamiento y regadío, que proporcionan el medio ambiente acuático de movimiento relativamente lento donde mejor se desarrolla el caracol. Sería improbable que no se presentara la misma situación en América Latina.

El control de la transmisión de enfermedades es relativamente simple en los casos en que el agente es el agua de uso doméstico o los alimentos. Esto no quiere decir que alcanzar dicho control sea fácil. Sin embargo, mucho más complejo es el control de enfermedades que se transmiten a través de otros miembros del ecosistema. En este último caso, la cadena de acciones y reacciones suele ser mucho más larga y difícil de controlar, especialmente por cuanto no se comprenden del todo los medios que deben utilizarse para ello. Por ejemplo, enfermedades como la oncocerciasis (ceguera fluvial), que se presenta desde México hasta Venezuela, podría propagarse sea por la migración del vector denominado mosca *simulium* o por el desplazamiento de la gente infectada.

### 3. El manejo del agua y la calidad del medio ambiente

En América Latina el manejo del agua ha sido un campo en que tradicionalmente ha intervenido el Estado. Desde el punto de vista jurídico, dicha intervención se basa en que los recursos hídricos se catalogan como de propiedad pública o fiscal. En ningún país de la región existen derechos de propiedad privada de importancia sobre los recursos hídricos. Por tanto, lo habitual es que el Estado tenga poder absoluto para asignar derechos de uso del agua mediante un simple decreto administrativo. No obstante, en algunos países esa facultad puede ejercerla solamente el poder legislativo y no el ejecutivo.

Lo usual es que la asignación de derechos para el uso del agua esté sujeta a un sistema de prioridades. Dichas prioridades, aunque tienden a variar en función del tiempo y entre una jurisdicción y otra, suelen conceder la máxima prioridad al agua para consumo doméstico. Sin embargo, recientemente se han establecido sistemas prioritarios más flexibles que permiten introducir cambios más rápidos en el orden de prelación de los usos. Esto último ha reducido las limitaciones que impone la asignación de priori-

<sup>25</sup> Organización Panamericana de la Salud, *Las condiciones de salud en las Américas*, 1969-1972, publicación científica N° 287, Washington D.C., 1974.

dades sobre las actividades de los organismos encargados de administrar y asignar los derechos de uso del agua.

En cuanto a las actividades de manejo, actualmente predominan las estrategias que utilizan un solo medio para obtener un objetivo único, aunque hay algunos casos aislados de aplicación de medios múltiples para lograr diversos fines. En la mayoría de los países, uno o más organismos gubernamentales —ministerios en algunos casos, y más comúnmente empresas autónomas— dominan el sistema de manejo de los recursos hídricos y se insiste en la construcción de obras hidráulicas de un uso único. Es raro encontrar, en la jurisdicción de las cuencas hidrográficas, mecanismos para resolver conflictos en los recursos hídricos; como en todas las actividades, la toma de decisiones del sector público está centralizada.

a) *Los sistemas de manejo del agua en América Latina* <sup>26</sup>

Los países latinoamericanos pueden agruparse en tres tipos generales según el sistema de manejo del agua que utilicen:

- i) países en que varios organismos tienen ingerencia en el manejo del agua, y en los cuales no existe una institución principal;
- ii) países en que las actividades de manejo del agua se concentran en una sola institución pero algunas funciones de importancia las realizan otras; y
- iii) países en que la administración de los recursos hídricos se concentra en una institución centralizada.

La situación más común es aquella, en que la administración de los recursos hídricos está repartida entre varias instituciones, sin que haya una que domine el sistema de manejo, aunque existen instituciones coordinadoras. Así sucede en Argentina, Bolivia, Colombia, Chile, Guatemala, Nicaragua, Paraguay, Uruguay y Venezuela. La coordinación de las actividades de las diversas instituciones como asimismo de los distintos sectores y usos es importante y la realizan varios tipos de organismos interinstitucionales. Estos pueden ser consejos interministeriales e incluso organismos de coordinación específicos, o sólo convenios *ad-hoc*. Sin embargo, se dan casos en que no hay medios oficiales de coordinación, como sucede en la Argentina en que en el plano federal no existe ningún consejo o comisión coordinadora. No obstante aun cuando existen tales mecanismos oficiales su efectividad varía y puede estar limitada no tanto por la estructura jurídica sino más bien por la asignación presupuestaria de los recursos financieros.

Dentro de dichos sistemas —que podrían con razón considerarse funcionalmente fragmentarios— existen grandes variaciones en cuanto a la centralización o descentralización de la autoridad decisora y en cuanto a la

<sup>26</sup> Esta sección se basa en *Administración hídrica en América Latina*, informe de consultoría preparado para CEPAL/PNUMA como parte del proyecto ADEMA, por el Instituto de Economía, Legislación y Administración del Agua (INELA), Instituto de Ciencia y Técnicas Hídricas (INCYTH), Mendoza, abril de 1976.

jurisdicción territorial de las diversas instituciones. Es común en casi todas partes —especialmente en lo que atañe a la generación hidroeléctrica, el suministro público de agua y el regadío— descentralizar ciertas funciones específicas, delegándolas en organismos públicos autónomos. La descentralización territorial es menos común fuera de los países federales (Brasil, México y Argentina). La descentralización del poder de decisión fuera de la burocracia del sector público no existe, aunque se dan casos en relación con la agricultura de riego, sobre todo en Chile y el Perú. Sin embargo, es más común la participación de los usuarios del agua en los consejos asesores; hay ejemplos de ello en el Brasil y la Argentina, y está previsto en los nuevos organismos regionales mexicanos.

El segundo tipo general de sistema de manejo del agua, en que una institución predomina sobre las demás, se encuentra en Brasil, Costa Rica, El Salvador, Panamá y Perú. En el Brasil, por ejemplo, la mayor parte de las actividades de esta índole se concentra, a nivel federal, en el Ministerio del Interior. La coordinación tiende a limitarse a la creación de comités interministeriales que se ocupan de uno de los usos específicos del agua; por ejemplo, GEIDA, el grupo interministerial formado en 1968 para coordinar las actividades de desarrollo del riego en el Gobierno federal. En el Perú, que es un Estado unitario, la centralización de la autoridad en el sistema de manejo del agua es aún mayor. La Dirección General de Aguas e Irrigación, adscrita al Ministerio de Agricultura, tiene autoridad no sólo sobre el agua destinada al riego, sino sobre todo al manejo general del recurso.<sup>27</sup>

En cuatro países —Cuba, Ecuador, Honduras y México— la administración del recurso hídrico está centralizada en una sola institución. Aunque hay diferencias entre estos países, la característica que los distingue es la consolidación del sistema de manejo del agua. El ejemplo clásico, hasta las últimas reformas administrativas, era el de México en que la institución rectora, la Secretaría de Recursos Hidráulicos (SRH), era responsable de la totalidad del desarrollo y de la conservación de los recursos hídricos.<sup>28</sup> La Secretaría se dividía en tres ramas principales, que cumplían respectivamente las tareas de planificación, construcción y operación, y sus actividades abarcaban todos los aspectos del manejo del agua. El único uso importante del agua que escapaba a su control directo era la generación de hidroelectricidad pero aun en este campo la política general quedaba en sus manos. La SRH realizaba investigaciones en todos los campos relacionados con el uso y conservación de los recursos hídricos y tenía autoridad para fijar políticas, planificar usos y ejecutar las obras necesarias para materializar sus políticas y planes.

<sup>27</sup> Julio Guerra, *Legislación de aguas en el Perú*, trabajo presentado en el Seminario sobre Aspectos Legales e Institucionales del Desarrollo de Recursos Hidráulicos, Mérida, Venezuela, 27 al 30 de mayo de 1974.

<sup>28</sup> En 1977, la Secretaría de Agricultura y Ganadería (SAG) se fusionó con la SRH para lograr una mejor integración del manejo de los recursos hídricos incorporando las actividades vinculadas al riego.

b) *El organismo encargado del manejo de las cuencas hidrográficas*

América Latina ha tenido una experiencia relativamente vasta y variada con organismos encargados del manejo de las cuencas hidrográficas. En 1975 había 18 organismos de esta índole repartidos en 10 países, dos de ellos relacionados con ríos internacionales.<sup>29</sup> Es en México, debido a la centralización de la SRH, donde se ha desarrollado más ampliamente un enfoque administrativo, en el sector del agua, basado en la existencia de organismos que se ocupan del manejo de las cuencas hidrográficas. Estos organismos poseen amplias atribuciones en seis de las cuencas más importantes del país. Recientemente, sin embargo, se ha propuesto la creación de organizaciones regionales del agua. Estas no están definidas sobre la base de cuencas hidrográficas individuales, y su creación significaría una considerable descentralización de la autoridad de la SRH. Los organismos regionales tendrían un consejo en el cual estarían representados los intereses locales junto con los federales.<sup>30</sup>

El otro país en que se han utilizado en cierta escala organismos similares como mecanismos administrativos es Colombia, que posee cinco entidades de esa índole que se ocupan del manejo de los ríos de uso más intensivo. Brasil, Argentina y Uruguay han hecho poco uso de este mecanismo; en el Brasil, el ejemplo sobresaliente es CODEVASF, organismo que tiene jurisdicción sobre la extensísima región alimentada por el río São Francisco en el nordeste. En Argentina, se han introducido comisiones de cuencas hidrográficas que sirven como vehículo para la cooperación federal en el manejo del agua.

Hasta el momento, no se ha hecho en América Latina intento alguno de utilizar una institución basada en la cuenca hidrográfica para controlar la calidad del agua, aunque por ejemplo en Colombia las empresas regionales del Cauca y del Bogotá siempre han tenido la responsabilidad de los programas de conservación.<sup>31</sup> Ultimamente, dichas facultades se han ampliado para incluir la protección del medio ambiente, de acuerdo con el Código de Recursos Naturales Renovables y de Protección del Medio Ambiente, de reciente promulgación.<sup>32</sup>

<sup>29</sup> Walter Stohr, *Regional Development Experiences and Prospects in Latin America*, Mouton & Co., La Haya, 1975, pp. 14-29.

<sup>30</sup> Véase, *Plan Nacional Hidráulico*, op. cit., pp. 107-116, para un análisis completo de esta innovación que se ha propuesto para la administración del agua en México.

<sup>31</sup> David E. Daines y Gonzalo Falcón H., *Legislación de aguas en los países del Grupo Andino, resumen y comparación*, 1975, p. 100 y ss.

<sup>32</sup> CEPAL, Reunión Regional Preparatoria para América Latina y el Caribe de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Agua, Documento informativo N° 11, Lima, Perú, 30 de agosto a 3 de septiembre de 1976.

Pese a la existencia de un número relativamente elevado de organismos, la responsabilidad regional del manejo del agua sigue siendo una novedad en América Latina, y la experiencia existente al respecto no ha recibido en general una difusión muy amplia.

*c) Consideraciones ambientales en torno al manejo del agua*

En casi todos los países latinoamericanos, el concepto de calidad del agua se identifica con el de calidad del agua potable de los sistemas de suministro público. Por ello, los ministerios de salud han tenido tradicionalmente la responsabilidad de controlarla. Ultimamente, el interés por esta materia se ha extendido hasta abarcar no sólo la protección directa de la salud humana sino también otros aspectos de la calidad ambiental. Este mayor interés no ha producido todavía cambios apreciables en el sistema de manejo del agua de la mayor parte de los países.

Sin embargo, hay algunas excepciones. En Colombia y Venezuela se han promulgado códigos generales de protección del medio ambiente, que abarcan la preservación de la calidad del agua y de los recursos conexos. En Colombia, el Instituto Nacional de los Recursos Naturales y del Ambiente (INDERENA) tiene en sus manos la responsabilidad ejecutiva, mientras que en Venezuela, la entidad encargada de esta materia es un ministerio de reciente creación, el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables (MARNR), con responsabilidades muy concretas en el manejo del agua.<sup>33</sup> Está por verse la naturaleza y efectividad de este medio y de las instituciones que propone, por cuanto en ninguno de los dos países se han dictado las normas ni creado las instituciones necesarias para poner en vigor la legislación.

Puede señalarse el caso de México como ejemplo de cambios menos profundos realizados al amparo de una legislación más general, pero igualmente destinados a destacar la importancia de la calidad del medio ambiente. Se ha creado, dentro de la SRH, la Dirección General de Usos de Agua y Prevención de la Contaminación, a fin de administrar las normas de

<sup>33</sup> Conforme al inciso 5º, artículo 36, sección decimotercera, de la Ley Orgánica del Ambiente, se designa al MARNR autoridad nacional de las aguas para "la planificación, administración, aprovechamiento, regulación y control de los recursos hidráulicos; los proyectos, construcción, operación y mantenimiento de las obras de aprovechamiento de los recursos hidráulicos; obras de riego, saneamiento de tierras, abastecimiento de agua en el medio urbano, hidroelectricidad; obras para el control de las inundaciones y la erosión; y obras para la conservación del lecho de los ríos, para la navegación en aguas interiores, y para la estabilización de cauces fluviales", Venezuela, Congreso de la República, Ley Orgánica del Ambiente, Gaceta Oficial, No 31004, 16 de junio de 1976.

prevención y control de la contaminación del agua y de manejar los programas de control de calidad del agua elaborados para alcanzar los objetivos establecidos en el plan hidráulico nacional.<sup>34</sup>

En forma tal vez más típica de la región en su conjunto, en el Brasil, a la inversa de lo sucedido en México, los organismos encargados del manejo del agua han permanecido en general ajenos al proceso de manejo de la calidad del medio ambiente. En el plano federal la mayor actividad se ha desplegado en torno a programas de suministro de agua y de alcantarillado desarrollados por el Departamento Nacional de Obras de Saneamiento del Ministerio del Interior, el Ministerio de Salud y el Banco Nacional de Habitación (BNH), pero realizados en la práctica por los estados. Ahora último se creó en el Ministerio del Interior, la Secretaría Especial do Meio Ambiente (SEMA),<sup>35</sup> sobre todo para conciliar las actividades de manejo del medio ambiente desarrolladas en los estados.

En los estados tal vez se encuentren las innovaciones más importantes, ya que en ellos toman forma concreta las actividades de los programas de suministro de agua y de alcantarillado. En 16 estados existen compañías estatales de sanidad para dichos efectos. Además, en São Paulo y Río de Janeiro se han creado, a través de reformas administrativas recientes, organismos amplios, de objetivos múltiples, para la protección de la calidad del medio ambiente; estos son la Companhia Estadual de Tecnologia de Saneamiento Básico (CETESB) y la Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente (FEEMA), respectivamente. Ambos organismos son cabalmente responsables del medio ambiente y tienen facultades para emprender investigaciones, desarrollar políticas y programas, ejecutar obras y hacer cumplir las normas de control.

Las estrategias de manejo del agua en América Latina son dispares. Los criterios más simples, de un solo objetivo, coexisten con los más complejos no sólo dentro de la región sino dentro de un mismo país. Debido a la falta de coordinación central en el proceso de manejo, pocos son los países que han conseguido homogeneidad en su aplicación práctica. En consecuencia, no resulta sorprendente comprobar que es igualmente heterogénea la incorporación de consideraciones ambientales al proceso de decisiones del manejo del agua. Lo característico es que los organismos de manejo del agua sean más bien marginados del proceso de manejo del medio ambiente. Por lo tanto, las consideraciones ambientales tienden a imponerse desde fuera

<sup>34</sup> Para el período 1977-1982, los tres objetivos son: a) solucionar los problemas de contaminación en las siguientes cuencas hidrográficas prioritarias: San Juan, Nazas, Lerma, Santiago, Panuco-Guayaleyo, Conchos, Balsas, Culiacán, Fuerte, Coahuayana, Blanco y Coatzacoalcos; b) hacer instalaciones para el tratamiento de las aguas residuales en las ciudades clasificadas como prioritarias en virtud de su desarrollo urbano-industrial o de su ubicación; y c) garantizar el tratamiento de los desechos eliminados por las industrias siderúrgicas, de pulpa y papel, azucarera, textil, química y petrolera, a fin de mantener los niveles de contaminación existentes en 1970. (Véase, Subsecretaría de Planeación, *Plan Nacional Hidráulico*, *op.cit.*, segunda parte.)

<sup>35</sup> La SEMA fue creada por decreto Nº 30000, del 30 de octubre de 1973.

sobre el manejo de los recursos hídricos: por intermedio de los ministerios de salud, de códigos generales de conducta ambiental puestos en vigor por organismos externos, nacionales e internacionales, o incluso a veces debido a las exigencias de los usuarios del agua. Hasta ahora, no puede afirmarse que en América Latina se haya incorporado la dimensión ambiental en el manejo del agua.

En el presente capítulo se ha procurado mostrar que el hombre utiliza cada vez más los sistemas de recursos hídricos de América Latina. Esta intensificación del uso es incompatible con la preservación de los diversos ecosistemas acuáticos. A veces hay un efecto perjudicial directo, como ocurre con la contaminación producida por las corrientes de aguas residuales procedentes de los grandes centros metropolitanos, o bien indirecto debido a cambios del régimen de caudales al aumentar la regulación con fines de almacenamiento o derivación. El solo aumento de la intervención en los sistemas hidrológicos basta para justificar un cambio en el sistema de manejo para el aprovechamiento de los recursos hídricos. Hay necesidad de crear instituciones de manejo capaces de efectuar dicha intervención en forma racional y eficaz, que impida cambios indebidos en los ecosistemas acuáticos, y permita conocer los posibles costos externos del aprovechamiento del agua, tanto en términos económicos como sociales. Se ha comenzado a satisfacer esta necesidad, como lo revelan los estudios de casos, pero éstos también muestran que todavía queda un largo camino por recorrer.

## Capítulo II

### LOS CASOS ESTUDIADOS DE MANEJO DE LOS RECURSOS HIDRICOS

El análisis de los aspectos ambientales del manejo del agua presentado en esta primera parte del informe se basa fundamentalmente en los hallazgos de nueve estudios de casos. En la segunda parte se examinan en detalle dichos casos. La finalidad del presente capítulo es estudiar los sistemas hídricos respectivos y observar cómo se han manejado los recursos naturales en cada caso. Los casos se clasifican sobre la base de dos tipos de situaciones características que confronta el manejo del agua en la región:

i) las consecuencias sociales, económicas y ecológicas de los cambios --sobre todo en la cantidad de agua y de sólidos en suspensión -- que se producen en sistemas regidos por obras de derivación y de regulación; y

ii) las consecuencias de esa misma índole que tienen principalmente los cambios en la calidad del agua, en sistemas regidos por grandes complejos urbano-industriales. Esta división es necesariamente algo arbitraria, puesto que los aspectos vinculados a la cantidad y calidad del agua están interrelacionados en todos los casos, incluso en los sistemas rurales donde el manejo del agua se ve afectado también por la concentración demográfica e industrial. No obstante, hay diferencias notables en la planificación y manejo del uso de los recursos en ambas categorías, las que se harán evidentes al establecer comparaciones entre los nueve casos que se presentan. En cinco de ellos, los problemas ambientales emanan de la mayor regulación de los sistemas fluviales y en estos casos los organismos responsables de la construcción de las obras desempeñan un papel crucial en el manejo y, en los cuatro restantes, prácticamente todas las decisiones sobre el uso del recurso están subordinadas a las necesidades de un gran centro urbano en cuanto a uso doméstico e industrial o a eliminación de residuos.

## 1. Sistemas regidos por obras de regulación

Los cinco casos mencionados incluyen obras de derivación y regulación de cursos superficiales y de extracción de aguas subterráneas en zonas áridas, semiáridas y tropicales húmedas. Como era de esperar a partir de la situación general planteada en el capítulo I, en todos los casos el propósito medular de cada proyecto es la producción de energía hidroeléctrica o bien la producción agrícola.

### a) El proyecto La Chontalpa

i) *El proyecto y sus recursos hídricos.* Parte importante de las tierras bajas que bordean la costa del Golfo de México es objeto de grandes inundaciones. Una de estas zonas es el delta del Usumacinta-Grijalva, región de selvas tropicales húmedas (las precipitaciones alcanzan a los 1 200 mm) situada en el Estado de Tabasco, 600 km al oriente de Ciudad de México (véase el mapa II-1) donde periódicamente se inundaba más de 1 millón de hectáreas. En 1951, después de una serie de crecidas muy perjudiciales, se constituyó la Comisión Grijalva, a la que se facultó para llevar a cabo el desarrollo integral de la cuenca Usumacinta-Grijalva-Tonalá (una superficie de 12.8 millones de ha). Los principales aspectos del manejo del agua que confrontó la Comisión fueron:

i) la prevención de las crecidas que impedían la explotación agrícola intensiva de la fértil llanura de aluvión y ocasionaban considerables daños a la propiedad en las zonas tanto urbanas como rurales;

ii) la promoción de los asentamientos y el uso intensivo de las tierras objeto de medidas preventivas contra las crecidas, lo que significaba obras de avenamiento, desbroce, infraestructura física, desarrollo agrícola y colonización;

iii) el desarrollo de la energía eléctrica;

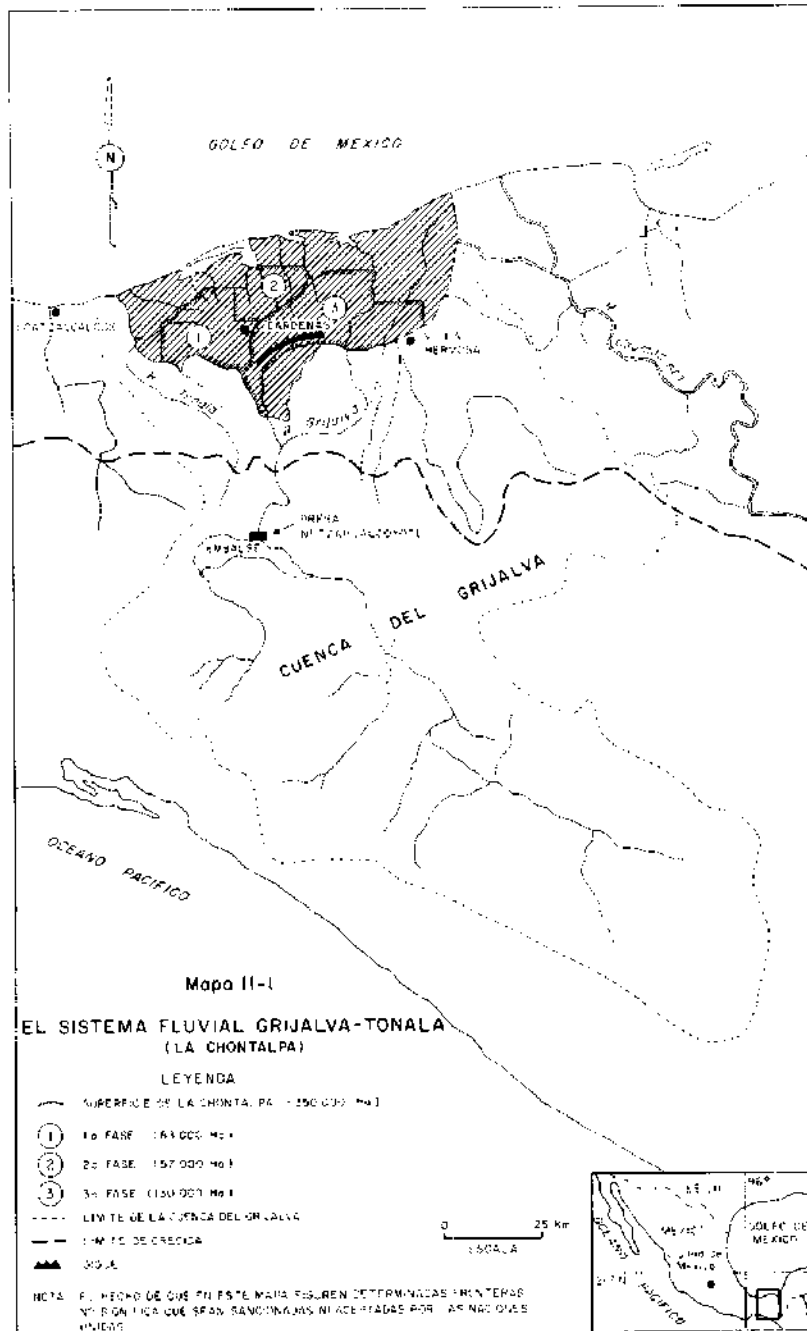
iv) el fomento de la recreación, el turismo y la pesca vinculados a los embalses;

v) la protección de la cuenca receptora a través de la reglamentación de las actividades agrícolas y silvícolas en los tramos superiores;

vi) el desarrollo de la navegación fluvial en las tierras bajas; y

vii) la conservación y explotación de los recursos forestales y de las pesquerías fluviales y costeras en la cuenca inferior.

El río Grijalva tiene un caudal medio de 860 m<sup>3</sup>/segundo y, antes de su regulación, la cuenca inferior era objeto de constantes crecidas estacionales entre julio y octubre. Se consideraba que las avenidas de hasta 4 000 m<sup>3</sup>/segundo no provocaban daños graves; sin embargo, se registraban algunas de hasta 6 000 m<sup>3</sup>/segundo. La frecuencia de las crecidas perjudiciales era de aproximadamente un año en cada cinco, provocando graves daños uno en cada diez. Como consecuencia de estas crecidas la llanura costera se compone fundamentalmente de suelos de aluvión fértiles relativamente profundos (35 cm) y recubiertos de depósitos marinos. Con todo, la com-



binación de la textura del suelo, las abundantes precipitaciones estacionales y el elevado nivel freático complican el desarrollo agrícola. El alto contenido arcilloso, hace que los suelos posean malas cualidades de drenaje y elevada capacidad de retención de agua. Permanecen saturados durante unos ocho meses al año, período durante el cual las lluvias provocan inundaciones con facilidad. Durante los cuatro meses de la estación seca los suelos se resquebrajan y dañan las raíces de los cultivos. Al principio la zona estaba cubierta de selva tropical, la cual ha sido talada en gran parte por lo menos una vez desde el siglo XVI.

El elemento básico del programa de aprovechamiento es una presa de uso múltiple para prevenir crecidas y almacenar agua para la producción de energía hidroeléctrica (Netzahualcóyotl) en el brazo principal del Grijalva, a 328 km de su desembocadura, cuya construcción se inició en 1960 y se terminó en 1964. El embalse abarca 29 000 ha y tiene una capacidad de 13 000 millones de m<sup>3</sup>. La capacidad de la central hidroeléctrica es de 200 MW. La regulación del caudal que ejerce la presa brinda protección contra las crecidas a unas 800 000 ha de tierras bajas costeras, incluida la cuenca inferior del Tonalá que antes recibía parte del sobrante del Grijalva durante la estación lluviosa. Dentro de esta zona se identificaron 352 000 ha apropiadas para el cultivo intensivo y se elaboraron los planes iniciales para habilitar y aprovechar siete unidades de aproximadamente 50 000 ha cada una. El plan definitivo contemplaba el desarrollo en dos fases de 270 000 ha —la primera de las cuales (140 000 ha) debía emprenderse en dos etapas en un plazo de diez años.

El proyecto La Chontalpa, que es la primera etapa de la fase uno, abarca una superficie neta de 83 000 ha y una superficie total de 91 000 ha. El programa regulador se concentró en la construcción de un dique de 32 km a lo largo de la ribera occidental del Grijalva (véase nuevamente mapa II-1) y de una red de drenaje intensivo. La base de este sistema reticular fueron 300 km de canales principales (equidistancia = 2 km) y 900 km de drenes secundarios (equidistancia = 1 km) con una profundidad de tres metros. Además el plan preveía la construcción de 770 km de caminos pavimentados y 600 km no pavimentados, el desbroce de 44 000 ha de selva, la nivelación de tierras e instalación de infraestructura de riego en 10 000 ha la construcción de 22 centros poblados dotados de todos los servicios urbanos para 6 250 familias y la reestructuración de la tenencia de la tierra que estaba en manos de 4 680 campesinos (2 590 ejidatarios y 2 090 pequeños propietarios) y su conversión en 22 ejidos<sup>36</sup> colectivos.

Prácticamente la totalidad de las obras de infraestructura se completó en 1974. El plan quinquenal original (1966-1970) preveía un incremento de la superficie de cultivos anuales de 8 000 ha a 33 000 ha y respecto a los cultivos perennes, de 12 000 ha a 30 000 ha, manteniendo constante

<sup>36</sup> Sistema de tenencia de la tierra vigente en México, en virtud del cual se otorgan a grupos o ejidos derechos a perpetuidad para explotar tierras fiscales.

la superficie de pastizales en unas 15 000 ha. Durante la ejecución del proyecto dichas cifras se modificaron a fin de aumentar la superficie total de pastizales a 46 000 ha y reducir, en consecuencia, la de cultivos a 33 000 ha; en 1975 se había cumplido el 60 y el 80%, respectivamente, de dichos objetivos modificados. La selva volvió a invadir algunas tierras deforestadas de difícil explotación. Así en 1976, pese al desbroce de 51 000 ha de selva, 7 000 más de las planificadas, había que desbrozar todavía 13 000 ha. El programa de riego se demoró debido a los elevados costos y a la complejidad de introducir la tecnología necesaria, aunque se aplicó por primera vez el riego por aspersión a 1 200 ha de bananos.

ii) *El sistema de manejo y su capacidad de respuesta.* El proyecto se estableció conforme a un acuerdo suscrito entre las secretarías de agricultura, recursos hidráulicos, salud, educación y reforma agraria. Y se nombró una comisión, la Comisión Grijalva de la SRH, para que ejecutara el programa de desarrollo, en tanto que las demás secretarías asumirían la administración de los diversos servicios una vez completada la infraestructura. La Comisión creó dentro de la división responsable de todos los programas de la cuenca inferior del Grijalva, una sección encargada específicamente de desarrollar y manejar el riego y drenaje del distrito de La Chontalpa. En 1966 se iniciaron las labores de construcción, desbroce y reasentamiento.

El manejo de todos los aspectos del proyecto permaneció en manos de la Comisión hasta 1972. Para esa fecha se había construido toda la infraestructura principal, y ya se advertía que las cuestiones institucionales, sociales y financieras relacionadas con el cultivo agrícola intensivo y la colectivización de los ejidos se estaban tornando complejas. Por ende, en virtud de un decreto presidencial se estableció el fideicomiso Plan Chontalpa, producto de un convenio suscrito entre la Secretaría de Hacienda y el Banco Agropecuario del Sureste, con el fin de aportar créditos, servicios de capacitación y extensión y promover el aprovechamiento integrado de la zona. La Comisión continuó a cargo del riego y drenaje del distrito, pero su mantenimiento y mejoras se hacían en fondos autorizados por el fideicomiso. El directorio de éste último lo presidía el gobernador del Estado de Tabasco y lo integraban representantes del sindicato de ejidatarios vinculado al proyecto, la Comisión Grijalva, el Banco Central, el Banco de Crédito Rural del Golfo, el Congreso Nacional de Campesinos y tres secretarías. El fideicomiso logró encauzar fondos hacia los ejidos y patrocinar programas de capacitación para los campesinos. Sin embargo, la falta de delimitación de la autoridad entre los organismos de colaboración impedía la acción concertada y un proceso fluido de toma de decisiones. En consecuencia, en 1976 se disolvió el fideicomiso y el Banco de Crédito Rural del Golfo asumió su cartera.

Se le otorgaron amplias facultades a la Comisión para planificar y ejecutar todas las obras de infraestructura rural y urbana, diseñar la nueva estructura de tenencia de la tierra, efectuar el reasentamiento y la colonización de los centros urbanos, programar el plan de aprovechamiento de la tierra y establecer y manejar todas las empresas agrícolas en las etapas

iniciales. Poseía financiamiento y autoridad suficientes para realizar todas estas actividades menos la última. Celebró contratos con entidades públicas o privadas para obtener los servicios necesarios, por ejemplo, con el Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas para planificar y administrar el programa agrícola y además tenía plenos poderes para expropiar tierras, indemnizar a los propietarios, reasignar la propiedad de la tierra y reubicar físicamente a las familias rurales en nuevos centros urbanos. Carecía de plenas facultades en materia de crédito o comercialización agrícolas.

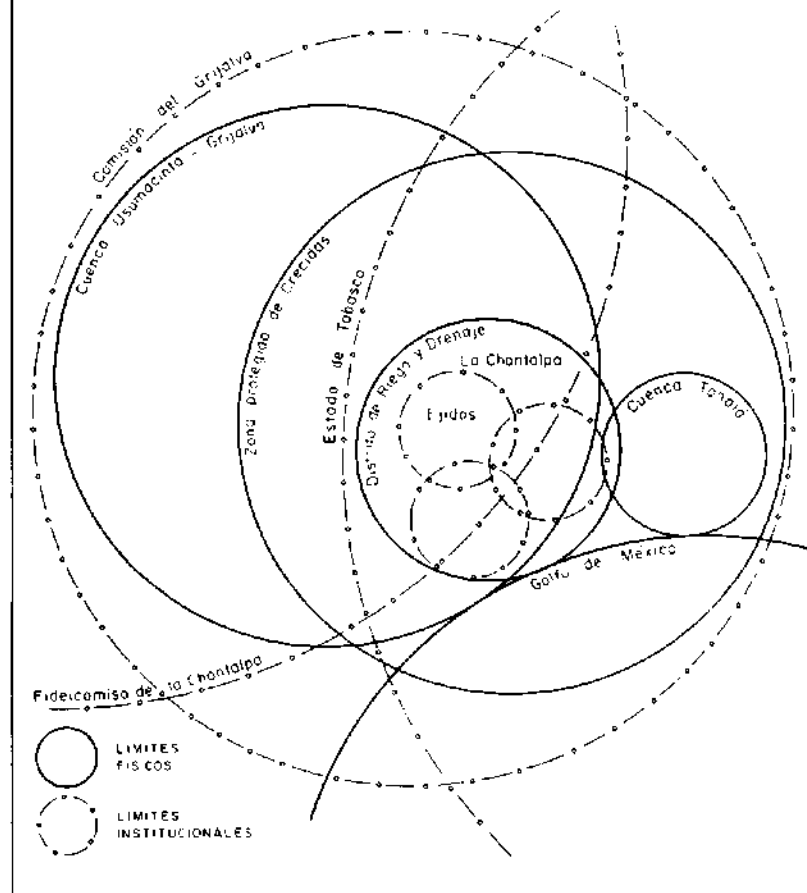
Si bien a primera vista podría suponerse que al otorgársele estas facultades se habría simplificado el manejo del recurso, de hecho la Comisión al ejecutar su tarea encaró una situación muy compleja desde el punto de vista social, institucional y ecológico. En el gráfico II-1 se muestran las relaciones entre el sistema físico y la jerarquía de las instituciones públicas y privadas cuyas decisiones inciden sobre el proyecto. Este gráfico es un diagrama Venn modificado que ilustra los nexos entre los principales ecosistemas, representados generalmente por cuencas hidrográficas, por ejemplo, la del Grijalva y Tonalá, y los límites jurisdiccionales de las instituciones relacionadas con el manejo de los recursos hídricos, por ejemplo, los ejidos y la Comisión Grijalva.

Durante la administración del proyecto la Comisión tuvo que afrontar una serie de acontecimientos imprevistos — como limitaciones de mercado, resistencia de los campesinos frente a los cambios instituidos, y la acción o inacción de otras instituciones que influían en los insumos y la comercialización agrícola. Los efectos ambientales se tradujeron en una menor producción agrícola debido en gran parte a dificultades para regular las relaciones entre suelo y agua. El sistema de drenaje inicial no evitó las inundaciones provocadas por las lluvias debido a una topografía de pendiente suave (40 cm/km) y accidentada. Por consiguiente, en 1972 la Comisión inició la construcción de la red de drenaje terciaria con una profundidad de 50 cm y una equidistancia de 200 metros. En 1973, se iniciaron las obras de un sistema destinado al riego por gravedad de 8 000 ha. Sin embargo, como persistieran los resultados poco satisfactorios, tanto de los sistemas de drenaje como de riego, en 1975 se inició un estudio sistemático del comportamiento del nivel freático para orientar los nuevos programas de control de los recursos hídricos. Según los resultados preliminares obtenidos el nivel freático podría manipularse mediante la construcción de un solo canal situado al sur del proyecto que desviara la fuente de recarga de aguas subterráneas situada en la cuenca superior.

Pese a estas modificaciones y a las postergaciones que ha experimentado el programa, los cambios provocados en el breve lapso de 11 años en el sistema natural y social prevaleciente en una superficie de 91 000 ha, han sido considerables y han exigido al máximo las capacidades técnicas y administrativas de las instituciones involucradas. En general, la respuesta a la degradación ambiental real o potencial ha consistido en modificar sucesivamente el sistema natural mediante la introducción de tecnología más compleja para manejar el suelo y el agua (nivelación, drenaje y riego) y la

Gráfico II-1

LIMITES FISICOS E INSTITUCIONALES RELACIONADOS  
CON EL PROYECTO LA CHONTALPA



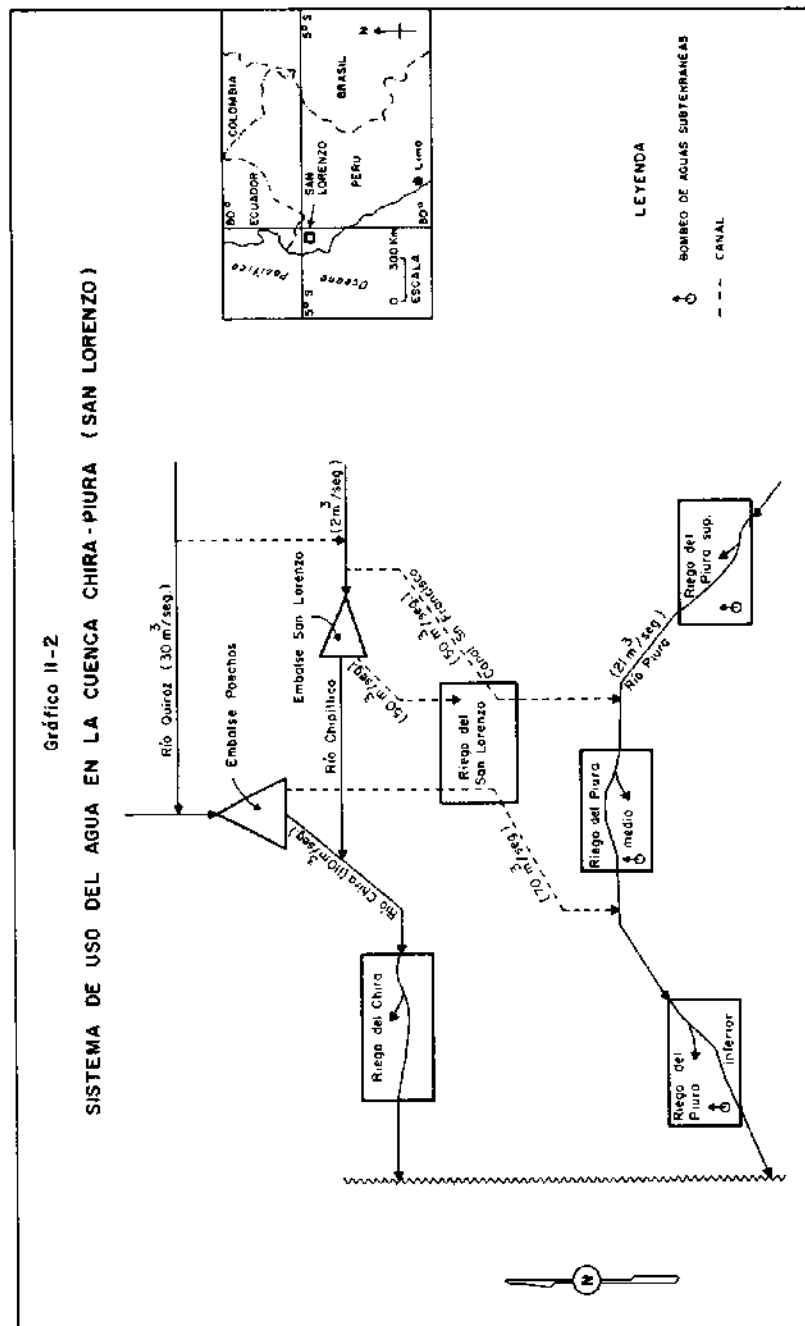
agricultura (uso difundido de sustancias químicas).

b) *El proyecto San Lorenzo*

i) *El proyecto y sus recursos hídricos.* El Proyecto San Lorenzo comprende el riego y la colonización de 45 000 ha en el valle de Piura, situado en el desierto de Sechura en el Perú septentrional. La región tiene un clima tropical semiárido con una precipitación anual de 140 mm. Entre los ríos Chira y Piura hay grandes superficies, en la llanura costera, que son planas y fácilmente regables, siendo el agua la limitación física principal para la expansión de la agricultura. Se estima que la disponibilidad media anual de agua en las cuencas del Chira y el Piura es de 4 000 millones de m<sup>3</sup> en caudales de superficie y 300 millones de m<sup>3</sup> en aguas subterráneas; con un almacenamiento adecuado se podría utilizar para regadío un 70% del caudal.

En 1948, al iniciarse las obras, había en la región 76 000 ha regadas parcial o totalmente. El proyecto puso en marcha una serie de obras reguladoras que posteriormente pasaron a formar parte del programa Chira-Piura de aprovechamiento integral de las aguas superficiales y subterráneas de estas dos cuencas adyacentes para proporcionar agua suficiente para regar 147 000 ha. En el gráfico II-2 se muestran los elementos físicos principales de este sistema.

El programa original contemplaba la derivación de 600 millones de m<sup>3</sup> de agua al año a través del canal Quiroz, desde el Río Quiroz al Chipillico (ambos afluentes del Chira), y de allí a través del canal San Francisco a la cuenca del Piura para regar 20 000 nuevas hectáreas y complementar el suministro de agua a 31 000 ha en el Piura medio. La construcción de los canales se terminó en 1954 y, entre tanto, los planes de riego adicional se ampliaron de 20 000 a 45 000 ha. Las principales obras hidráulicas de esta segunda etapa fueron una presa de almacenamiento con capacidad para 258 millones de m<sup>3</sup> en el Río Chipillico (embalse San Lorenzo), un canal de derivación con capacidad para trasladar 50 m<sup>3</sup>/segundo adicionales de la cuenca del Chira a la del Piura, y canales de riego para las nuevas tierras incorporadas a la agricultura. La construcción se terminó en 1959 pero por una serie de razones la colonización no comenzó hasta 1962. Entre tanto, la mayor disponibilidad de agua estimuló el aumento espontáneo del riego en el Piura medio e inferior. De esta manera, cuando efectivamente comenzó la colonización surgieron conflictos sobre el uso del agua y en la aplicación de la reforma agraria. La escasez de agua que produjo esta situación unida a la salinización inesperada del agua utilizada en el proyecto San Lorenzo y que reapareció (a través del manto acuífero que recubría sedimentos marinos hiper salinos) en el Piura medio e inferior, provocaron serios problemas de salinización del suelo en toda la cuenca. Además se produjo la saturación de algunas zonas por la escorrentía del San Lorenzo. En consecuencia, sólo se incorporaron efectivamente a la producción 36 000 ha del proyecto, 4 000 de las cuales se abandonaron posteriormente debido a la saliniza-



ción y a la cantidad excesiva de agua que requerían los suelos arenosos permeables. En otras zonas, situadas tanto dentro como fuera del proyecto, la salinidad dificultó el manejo y disminuyó los rendimientos; en especial porque el agua era insuficiente para arrastrar las sales.

ii) *El sistema de manejo y su capacidad de respuesta.* En el Ministerio de Agricultura se estableció una entidad autónoma, Proyecto San Lorenzo, encargada de la construcción, y de la colonización y desarrollo agrícola de las 45 000 ha. De hecho, este organismo sólo ejecutó las obras de ingeniería y fue disuelto en 1961. Posteriormente, el cometido de planificar, colonizar, manejar el sistema de riego, y fomentar el desarrollo agrícola fue asumido por la Oficina Agraria San Lorenzo, que era una de las cinco oficinas regionales de la Zona Agraria I del Ministerio de Agricultura. Esta oficina, encargada exclusivamente de prestar servicios a la zona del proyecto, continuó en funciones hasta 1975, año en que dicha responsabilidad pasó a compartirse entre el Ministerio de Agricultura, que siguió administrando el sistema de riego a través de la Dirección de Aguas, y el Ministerio de Alimentos de reciente creación, que proporcionaba servicios en materia de producción y comercialización de productos alimenticios.

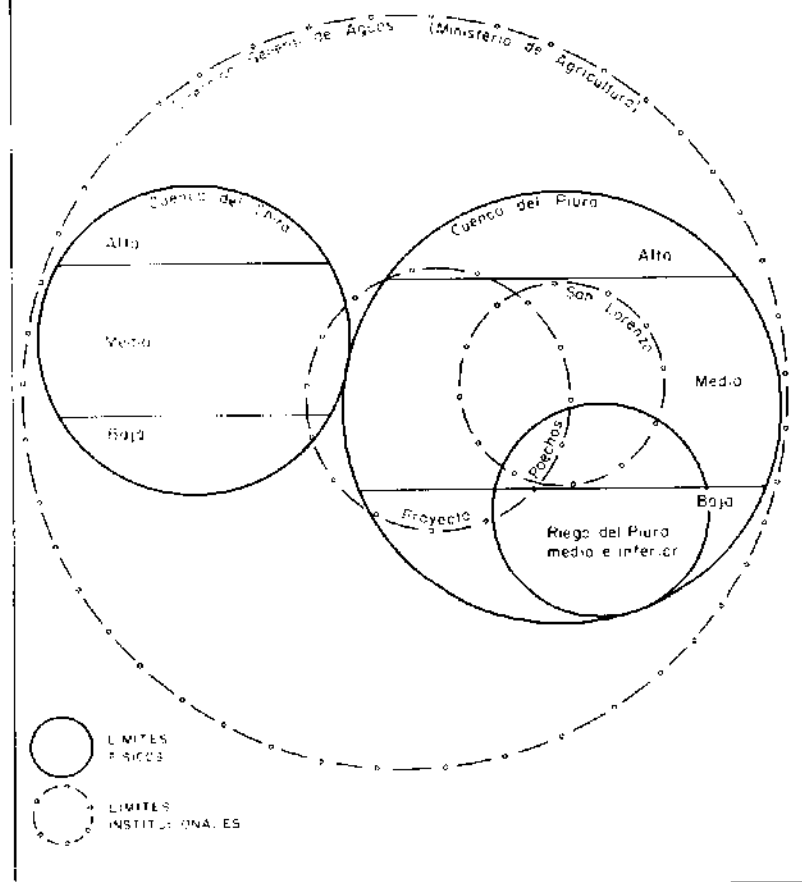
A mediados del decenio de 1960 afloraron rápidamente los conflictos surgidos de la escasez de agua, la salinización y la saturación. Para resolverlos y utilizar la infraestructura de riego ociosa en 15 000 ha del proyecto, lo que representaba una inversión de 30 millones de dólares,<sup>37</sup> se creó un nuevo organismo en 1968 encargado de planificar y ejecutar un programa integrado de aprovechamiento del agua en las cuencas del Chira y del Piura. Este organismo, la Dirección Ejecutiva del Proyecto Chira-Piura, fue adscrito al Ministerio de Agricultura con facultades coordinadoras sobre el Proyecto San Lorenzo y otros sistemas de riego situados en el Piura medio e inferior. Las obras para ejecutar este plan, tercera etapa del aprovechamiento de los recursos hídricos de la región, se iniciaron en 1972 con la finalidad primordial de almacenar 1 000 millones de m<sup>3</sup> de agua en el Chira (presa y embalse de Poechos) y derivar otros 70 m<sup>3</sup>/segundo del Chira al Piura. En el gráfico II-3 se muestra la relación entre las responsabilidades institucionales en la ejecución de las diversas facetas del aprovechamiento por etapas y el sistema físico.

Los organismos encargados de manejar dicho aprovechamiento sólo se ocuparon de la infraestructura y los servicios destinados al desarrollo de la agricultura de riego, que primero abarcó 20 000 ha, luego 45 000 ha y por último 147 000 ha. En ningún momento se incluyó en el proyecto la cuenca colectora superior, ni tampoco se consideraron las posibles interrelaciones entre el aumento de la población y el sistema natural alterado, por ejemplo, desde el punto de vista de la salud o de la presión sobre los recursos bióticos. El manejo se concentró casi exclusivamente en solucio-

<sup>37</sup> A menos que se indique otra cosa, todos los valores que figuran en el texto se expresan en dólares de los Estados Unidos (1975). Si bien el procedimiento presenta desventajas evidentes proporciona cso sí una medida de comparación.

Gráfico II-3

LIMITES FISICOS E INSTITUCIONALES RELACIONADOS  
CON EL PROYECTO SAN LORENZO



nar el conflicto sobre el uso del recurso en las zonas regadas del Piura medio e inferior y en el propio proyecto San Lorenzo, producto de la intensificación del uso de la tierra y el agua en la cuenca Chira-Piura.

Aparte los esfuerzos por solucionar el conflicto aumentando la cantidad de agua disponible, se emprendieron varias actividades destinadas a mantener la productividad agrícola. Se realizaron obras de drenaje importantes y los programas de extensión promovieron un cambio en los métodos de cultivo adaptándolos al lavado periódico de los suelos y en algunos casos a la introducción de cultivos salino resistentes. Además, se efectuaron estudios para determinar los caudales de aguas subterráneas con miras a bombear las que fueran salinas en determinados puntos y vaciarlas en canales que desembocarían directamente al mar.

### c) *El proyecto Guri*

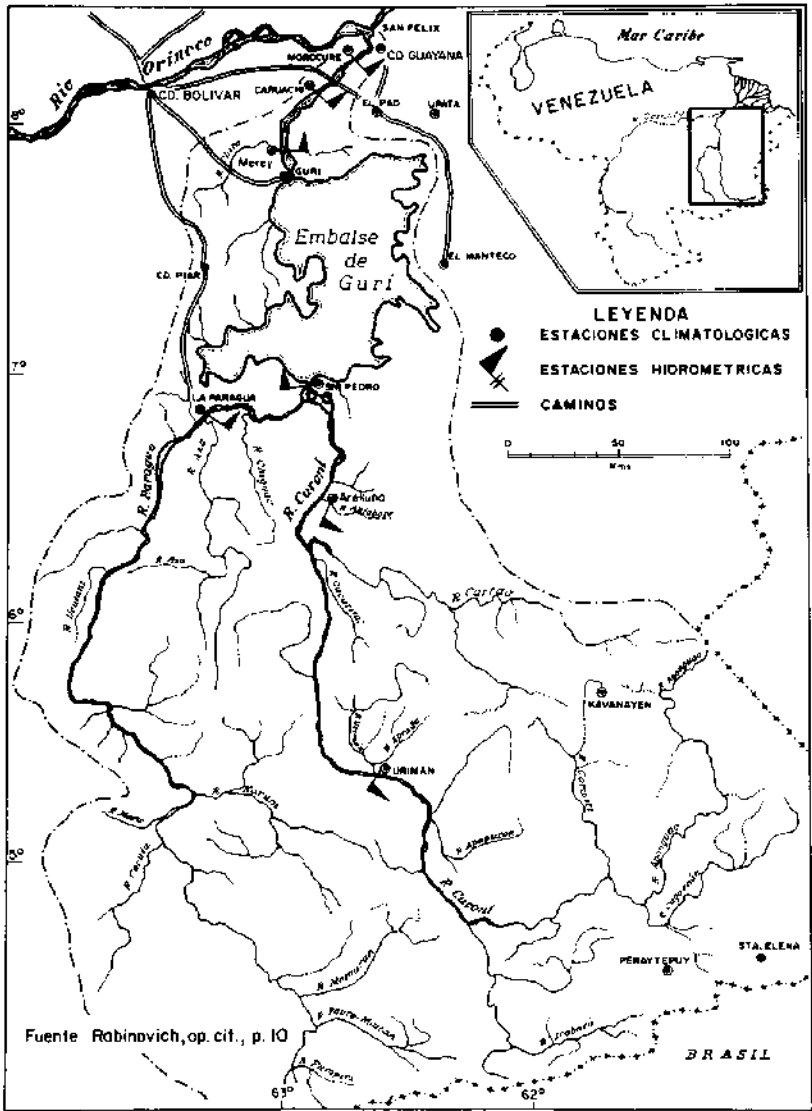
i) *El proyecto y sus recursos hídricos.* Este es un proyecto de gran envergadura para producir energía hidroeléctrica dentro del programa para el desarrollo de la región de Guayana en Venezuela occidental. La presa se está construyendo en el Río Caroní, 95 km antes de su confluencia con el Orinoco y 300 km al sur de la costa del Caribe. La superficie de captación del embalse abarca 9.35 millones de ha, ocupadas en su mayoría por selva tropical húmeda inexplorada (véase el mapa II-2).<sup>38</sup> El promedio anual de precipitaciones es de 2 600 mm, lo que da un caudal medio en la presa de 4 100 m<sup>3</sup>/segundo. La escasa información disponible acerca de los suelos de la cuenca sugieren que muchos de ellos son de escasa fertilidad y muy susceptibles a la erosión.

El proyecto se planificó en dos etapas. Las primeras obras se terminaron en 1968 y tienen una capacidad generadora instalada de 2 000 MW. Las segundas, que se espera terminar en 1987, aumentarán la capacidad a 8 750 MW y formarán un embalse de 425 000 ha. La inversión total, incluidos los cables de transmisión a Caracas y Venezuela oriental, se estima en 3 000 millones de dólares. Se piensa que la energía se consumirá principalmente en la región en usos domésticos e industriales; se han hecho y se proyecta realizar grandes inversiones en las industrias siderúrgicas y de aluminio, esperándose que la población urbana de la región aumente de 400 000 habitantes en 1975 a 1 400 000 en el año 2000. Los principales centros urbano-industriales serán ciudad Guayana y Puerto Ordaz situados en el brazo principal del Orinoco a unos 100 km de la presa.

La construcción de un camino de acceso a la presa en 1964 abrió la hasta entonces aislada zona selvática, a la que afluyeron numerosos empresarios interesados en explotar los recursos madereros. Estas personas realizaron una tala selectiva de manera que la cubierta forestal no varió gran

<sup>38</sup> Véase J.R. Rabinovich, *Guri: Un conflicto de intereses en el uso de los recursos naturales en una cuenca tropical*, Caracas, noviembre de 1976. (Informe de consultoría preparado para PNUMA/CEPAL como parte del proyecto ADFMA.)

## PROYECTO GURI Y CUENCA DEL RIO CARONI



cosa y los regímenes hidrológicos (tasas de escurrimiento e infiltración) y la sedimentación no experimentaron cambios. Sin embargo, los colonizadores avanzaron por los caminos destinados al transporte de troncos e introdujeron un método agrícola de corte y quema de residuos que, de extenderse a gran parte de la cuenca del Caroní, podría traducirse en grave erosión. Dicha erosión entrañaría consecuencias a largo plazo para la productividad agrícola y forestal, así como la modificación de las tasas de escurrimiento, infiltración y sedimentación. Los posibles resultados de esto serían:

i) virtual destrucción de la capacidad productiva del suelo y de los recursos forestales;

ii) aumento del caudal medio del Caroní, puesto que disminuye la evapotranspiración ocasionada por la vegetación;

iii) marcado aumento del caudal máximo del Caroní, ya que no habría selvas que impidan la escorrentía y se aceleraría la infiltración debido a la descomposición de las raíces del bosque destruido;

iv) el caudal bajo del Caroní disminuiría, porque los suelos de la cuenca retendrían poca agua de la temporada lluviosa hasta la seca; y

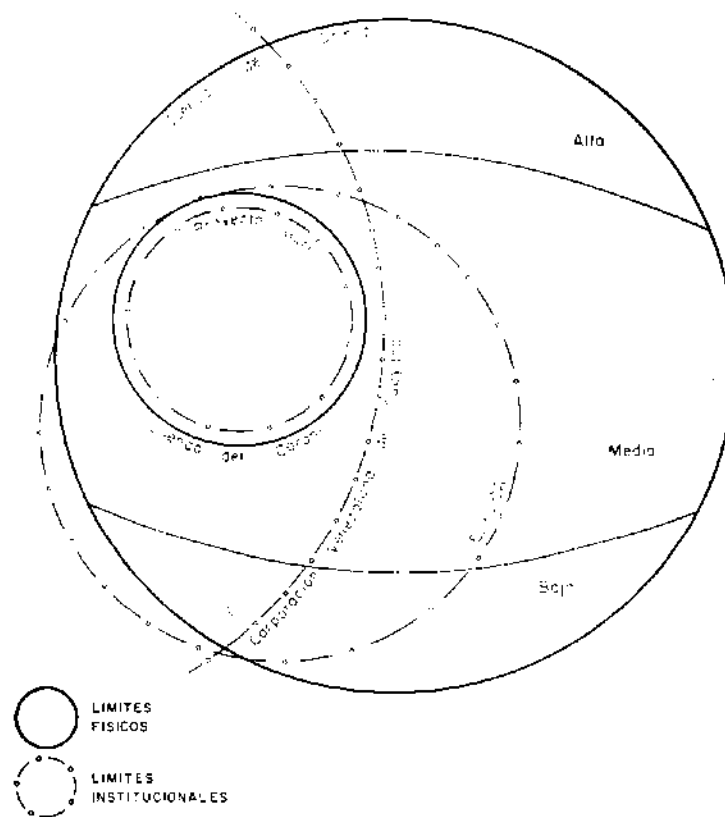
v) aumento de la sedimentación del río, que podría traducirse en una mayor producción de peces y al mismo tiempo en la disminución progresiva de la capacidad de almacenamiento del embalse Guri.

ii) *El sistema de manejo y su capacidad de respuesta.* El manejo de los recursos de la cuenca del Caroní y de toda la cuenca media e inferior del Orinoco está en manos de una entidad autónoma de desarrollo regional — la Corporación Venezolana de Guayana (CVG). En el gráfico II-4 se indica la relación entre la jurisdicción de la CVG y las cuencas del Caroní y del Orinoco. Una empresa filial de la CVG — Electrificación del Caroní (EDELCA)— está encargada de la construcción y operación del proyecto Guri. Por ende, la CVG como única autoridad debe encarar el problema de largo plazo de cómo manejar los recursos hídricos, forestales y terrestres de la cuenca del Caroní (dada la existencia de la presa y de la planta generadora) para proporcionar al pueblo venezolano una corriente amplia y sostenida de servicios como electricidad, productos forestales, pesqueros y agrícolas. Otro problema relacionado con el manejo de los recursos se centra en los *trade-offs* intertemporales entre la provisión inmediata de empleo y subsistencia y el mantenimiento a largo plazo de la capacidad productiva del sistema natural.

La energía es el insumo esencial para desarrollar la gigantesca industria minera, base económica de la región de Guayana. Por ende, cuando se inició el proyecto Guri la única preocupación del manejo era la producción de energía hidroeléctrica. Se supuso en forma implícita que los recursos de la cuenca colectora superior permanecerían intactos. Sin embargo, la explotación forestal espontánea en la región, que se inició a mediados de la década de 1960, seguida de la colonización espontánea, planteó un conflicto entre el uso de la tierra y el uso del agua para la energía hidroeléctrica. Al reconocer este conflicto potencial y la incertidumbre que rodeaba su

Gráfico II-4

LIMITES FISICOS E INSTITUCIONALES RELACIONADOS  
CON EL PROYECTO GURI



evolución, la CVG decidió en 1975 cerrar la cuenca para las actividades madereras y de colonización.

d) *El proyecto Aconcagua*

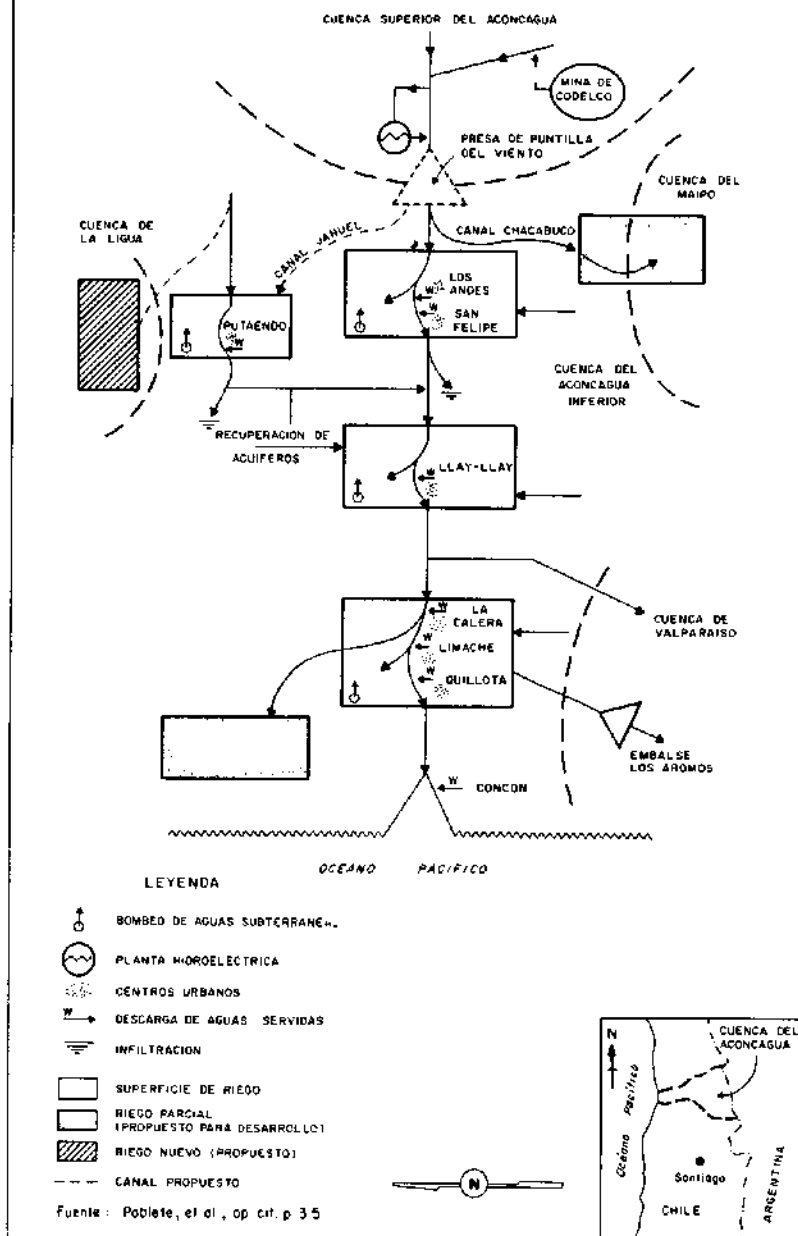
i) *El valle y sus recursos hídricos.* El Aconcagua es un río relativamente pequeño que cruza una región semiárida, y cuyo caudal no controlado se utiliza en forma intensiva para el riego. Asimismo, es una fuente de abastecimiento de agua municipal e industrial y un receptor de desechos municipales e industriales. El valle está situado en una región templada semiárida (precipitación anual 350 mm) en la zona central de Chile a 70 km al norte de Santiago (véase el gráfico 11-5). La superficie de la cuenca es de 7 640 km<sup>2</sup>, con una longitud de 190 km entre los Andes y la costa del Pacífico, y un caudal medio en su tramo medio de 30 m<sup>3</sup>/segundo. Según los estándares latinoamericanos, puede afirmarse que los recursos hídricos y terrestres de esta región se explotan en forma intensiva. Se riega prácticamente toda la tierra del valle que es susceptible de regarse (72 000 ha). Alrededor de 200/o de esta superficie está destinada a hortalizas, 200/o a frutas y 600/o a otros cultivos anuales y praderas. Las políticas gubernativas recientes de fomento a las exportaciones están conduciendo a la expansión e intensificación de la producción de frutas y hortalizas.

Hasta ahora, toda consideración sobre el manejo del río se ha limitado a mostrar interés por controlar el caudal durante los períodos de estiaje. Los principales problemas se refieren a la distribución del agua de riego entre diferentes partes del valle con miras a garantizar un nivel óptimo de producción agrícola, y a conciliar el uso de esa agua con el abastecimiento de agua potable a las ciudades de Valparaíso y Viña del Mar. Hay dos embalses en construcción, uno, Puntilla del Viento situado en la cuenca superior para aumentar los caudales escasos en el brazo principal, y el otro, los Aromos, situado en un pequeño afluente estacional pero para almacenar agua derivada del brazo principal y proporcionársela a Valparaíso. Debido a restricciones presupuestarias las obras en Puntilla del Viento se encuentran actualmente paralizadas.<sup>39</sup>

No puede afirmarse, por ahora, que haya un conflicto vital entre el uso del agua en el valle y la calidad ambiental. El valle posee características similares a las de la mayoría de los valles de la región central de Chile y muestra los mismos resultados derivados de la intensificación de las actividades del hombre durante los últimos cuatro siglos — deforestación y erosión acelerada consiguiente de los cerros, modificación completa de la cubierta vegetal, interrupción de las características de drenaje originales, etc. Sin embargo, se ha alcanzado cierta estabilidad, aunque es posible

<sup>39</sup> Para un resumen del presente plan de manejo, véase Juan Antonio Poblete, Arturo Palma y Antonio Forno, *Análisis de alternativas de uso óptimo de los recursos de agua y tierra en la Cuenca del Río Aconcagua—Chile*, Centro de Planamiento, Universidad de Chile, publicación N° 76/02/B, Santiago, 1976.

Gráfico II-5  
SISTEMA DE USO DEL AGUA EN EL VALLE DEL ACONCAGUA



perfeccionar el uso de la tierra y el manejo del agua. No obstante, si se mira hacia el futuro la situación no es tan tranquilizadora. Hay algunas situaciones potencialmente conflictivas que surgen de las exigencias que se le imponen a un recurso muy limitado.

Las fuentes más importantes de conflicto futuro emanarían de:

-- La tendencia general a intensificar la producción mediante la agricultura de riego, sobre todo la expansión de la producción de cultivos permanentes, como duraznos y uvas de mesa. Si se extrema esta tendencia habrá que construir la presa de Puntilla del Viento en la cuenca superior, lo que generará nuevos problemas físicos y tecnológicos vinculados al manejo del embalse.<sup>40</sup> Sin embargo, el proyecto de la presa y el embalse es sólo una de las acciones que se vienen emprendiendo en relación con esta tendencia a intensificar la agricultura que exigirá un cambio radical de todo el sistema de riego y de cultivo en el valle, desde el punto de vista físico, social e institucional.

-- La estrategia adoptada por los gobiernos en los últimos años ha sido la de fomentar el crecimiento industrial y urbano, no sólo a lo largo de la costa sino también en las ciudades del valle, junto con aumentar la producción minera y agrícola. Esta estrategia redundaría en una mayor presión sobre el río como abastecedor de agua, sobre todo en Valparaíso y Viña del Mar, y como receptor de desechos procedentes de la industria, de la agricultura, y de los centros urbanos en expansión en el propio valle.

-- El papel del río como la mayor fuente regional de agua, incluida la ampliación de un transvase situado al sur de la zona de Chacabuco en el valle del Maipo y otro proyectado al norte del valle de La Ligua—Petorca—como parte de una política nacional destinada a disminuir la tendencia a la despoblación rural (véase de nuevo el gráfico II-5).

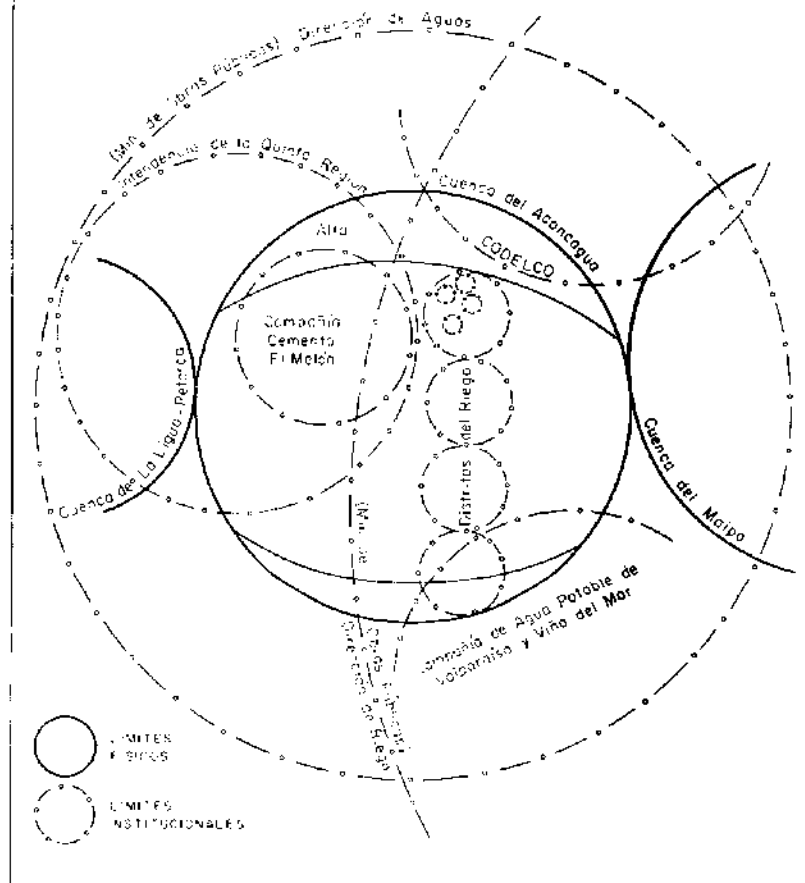
ii) *El sistema de manejo y su capacidad de respuesta.* La Dirección General de Aguas (DGA), dependiente del Ministerio de Obras Públicas, está encargada de autorizar todos los usos del agua tanto en el valle del Aconcagua como en el resto de Chile. No obstante la DGA dista mucho de ser una entidad gestora, y carece de los medios para resolver los conflictos entre usuarios. Este problema se acentúa cuando entre los usuarios figuran, como en el valle del Aconcagua, grandes empresas estatales u otras entidades públicas (véase gráfico II-6). En consecuencia, el manejo tiende a caer por defecto en manos de los usuarios. En la práctica, por falta de medios de coordinación, la unidad aparente establecida por el código de aguas se traduce en un manejo inexistente.

Sin embargo, se han hecho en Chile innovaciones recientes en la esfera de la acción gubernativa global y la planificación general del desarrollo. En 1974, se inició un proceso de descentralización de la actividad gubernativa reestructurándose las provincias en regiones. A las nuevas unidades regionales de gobierno se les ha otorgado una cierta autoridad que permite la

<sup>40</sup> Véase Poblete, *et al.*, *op. cit.*, p. 63.

Gráfico II-6

LIMITES FISICOS E INSTITUCIONALES RELACIONADOS CON EL  
MANEJO DEL AGUA EN LA CUENCA DEL ACONCAGUA



coordinación activa de las acciones de las diversas instituciones y dependencias públicas. En la quinta región, cuya principal arteria es el río Aconcagua, esto se ha traducido en la preparación de planes de desarrollo de corto y largo plazo. Parte medular de dichos planes, que aún no se han materializado, ha sido la evaluación de sus efectos sobre el río y el estudio del aprovechamiento integral de éste.

e) *El proyecto Caño Mánamo*

i) *El proyecto y sus recursos hídricos.* Caño Mánamo es el brazo más occidental del delta del Orinoco. Da su nombre a un amplio programa de control de crecidas y de habilitación de tierras del delta superior, cuyas obras claves son una presa de regulación a través del Caño Mánamo cerca del punto en que se aparta del río principal y un extenso sistema de diques (véase el mapa II-3).<sup>41</sup> El proyecto está ubicado en una zona húmeda de selvas tropicales situada a 500 km de Caracas (la precipitación anual alcanza a 1 300 mm) en la cual se producen grandes crecidas durante la mitad del año. El delta del Orinoco abarca 2.25 millones de ha, aproximadamente 70 000 de las cuales son suelos de clase I-III, adecuados para cultivos intensivos. Casi la totalidad de esta área potencialmente agrícola (64 000 ha), más unas 120 000 ha que podrían utilizarse bajo un régimen especial de gestión, se encuentran dentro de la zona protegida de las crecidas, que abarca una superficie de 410 000 ha y comprende las islas de Guara, Cocuina, Manamito, Macareo y Tucupita.

El proyecto fue iniciado por la CVG y forma parte de su programa de autosuficiencia regional en la producción de alimentos mediante la intensificación y desarrollo de la agricultura. Los estudios sobre el delta se iniciaron en 1959, y en 1965 se resolvió proceder a su desarrollo. En 1966, al terminarse la presa de Caño Mánamo se suprimió todo el caudal, con lo que la salinidad penetró hasta 50 km en algunos afluentes, por lo que luego de un año hubo que modificar la presa insertando una compuerta de control que permitiera el paso de agua dulce del brazo principal. En 1968, se seleccionó la isla Guara (23 000 ha) como zona experimental para el desarrollo agrícola. En dicha isla había 700 ha de cultivos, 1 100 ha para ganadería intensiva y 12 300 ha de pastizales. Con el control de crecidas y drenaje se esperaba que en un plazo de 20 años pudieran desarrollarse 7 000 ha para cultivo, 4 600 ha para ganadería intensiva y 7 000 ha para ganadería extensiva. Durante los primeros siete años se destinaron 2 200 ha a cultivos y 2 500 ha a ganadería intensiva.

En la zona del proyecto hay una interacción compleja entre el régimen hidrológico, los suelos, la vegetación y los pastizales. El caudal medio del Orinoco es de 69 000 m<sup>3</sup>/seg en tanto que los caudales de los dos afluen-

<sup>41</sup> Véase Eduardo Buróz C. y Juan Guevara B., *La incorporación de variables ambientales en un proyecto de habilitación de tierras agrícolas: un caso en el delta del Orinoco*, Caracas, noviembre de 1976, p. 4 (informe de consultoría preparado para CEPAL/PNUMA como parte del proyecto ADEMA).



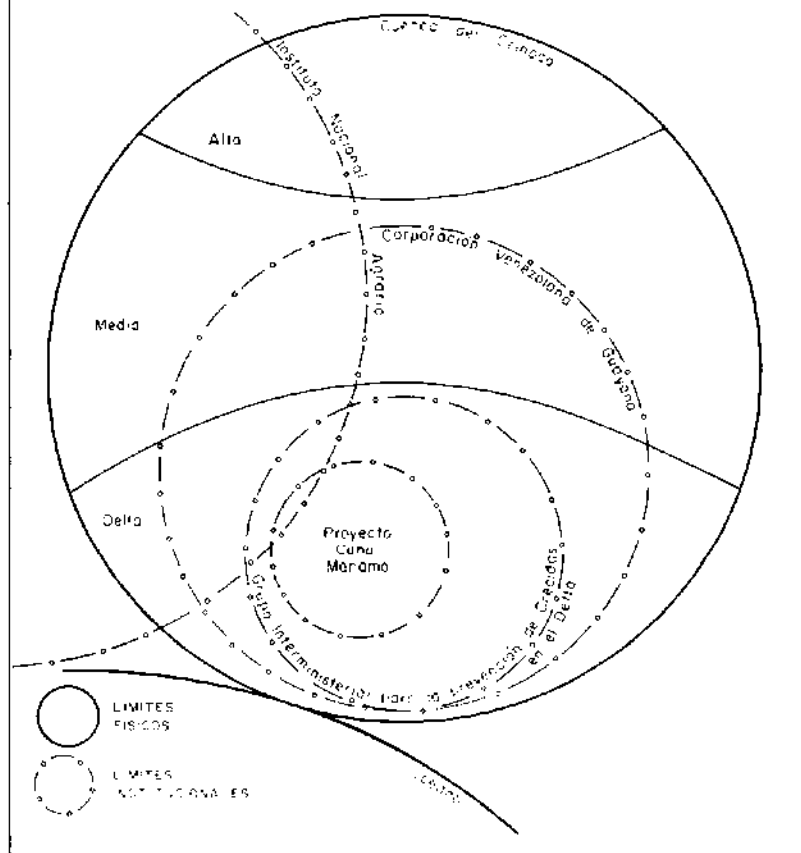
tes directamente vinculados al proyecto del delta, los caños Macarico y Mánamo, poseían con anterioridad a la derivación 5 400 y 7 900 m<sup>3</sup>/seg respectivamente. Antes de materializarse el proyecto las inundaciones alcanzaban en las islas una altura de 1 a 3 metros durante unos seis meses al año. Aparte de estas crecidas, producto de las variaciones estacionales normales del caudal, se estima que las probabilidades de que haya grandes crecidas es de 1 año en 5 para caudales que sobrepasen la capacidad de Caño Mánamo (8 000 m<sup>3</sup>/seg) en un 20% y de un año en 100 para los que la sobrepasen en 50%. Debido a las precipitaciones estacionales las inundaciones aumentan de junio a agosto y de octubre a diciembre. A medida que las aguas se retiran se depositan sedimentos en las islas mejor drenadas lo que ha formado diques naturales con suelos aptos para la agricultura. En cambio, los suelos del interior de las islas se encuentran anegados o bien tienen un nivel freático próximo a la superficie durante todo el año. En estas condiciones casi no existe un proceso de maduración del suelo. Con el drenaje hay una maduración física y química que tiene efectos negativos irreversibles sobre la productividad. Durante la estación seca (de marzo a junio) el suelo pierde progresivamente su capacidad de retener agua debido al drenaje. Los cambios químicos obedecen a la oxidación, que se produce cuando el suelo se combina con los sulfatos de los sedimentos marinos subyacentes para formar ácido sulfúrico. Sin el "lavado" de las crecidas el ácido se acumula. Consecuencia de ello es la formación de sales en la superficie mediante la acción capilar y la conversión de compuestos de aluminio insolubles presentes en el suelo en formas solubles que son tóxicas para las plantas, en particular para la vegetación tipo sabana del interior de las islas.

ii) *El sistema de manejo y su capacidad de respuesta.* Desde su creación en 1960, la responsabilidad de la planificación y ejecución del desarrollo agrícola del delta del Orinoco estuvo en manos de la CVG. Este organismo se ocupó de construir las obras fundamentales de protección contra las crecidas. En 1968, la CVG y el Instituto Nacional Agrario (IAN) fueron encargados específicamente de desarrollar y colonizar la isla Guara como zona experimental. Y en 1972, se firmó un nuevo acuerdo conforme al cual el gobierno territorial, dos ministerios nacionales, el IAN, un banco estatal y dos empresas estatales colaborarían en el desarrollo de toda la zona protegida de las crecidas por el embalse y el sistema de diques. El Ministerio de Gobernación iba a coordinar las tareas y la CVG fue designada organismo de ejecución (véase gráfico II-7). La falta de una definición clara de autoridad complicó la ejecución del desarrollo integrado y del plan de manejo previsto en un principio. Sin embargo, en la práctica la CVG ha tomado todas las decisiones de importancia sobre manejo del agua (concretamente con respecto a la regulación de caudales en Caño Mánamo) construcción de la infraestructura especializada y manejo del agua y de los suelos en varias islas.

En el proceso de desarrollo surgieron algunas dificultades de manejo derivadas de las relaciones entre suelo y agua ya analizadas. Aparte de una menor capacidad de retención hídrica y la formación de suelos con sulfa-

Gráfico II-7

LIMITES FISICOS E INSTITUCIONALES RELACIONADOS  
CON EL PROYECTO CAÑO MANAMO



tos ácidos, hubo problemas por la sumeración de los suelos con pérdida de materias orgánicas y por la quema excesiva de los pastos naturales, todo lo cual se tradujo en la pérdida de especies comestibles. Ante estas señales de degradación, la CVG patrocinó amplias investigaciones con base en la estación experimental de FUSAGRI situada en la isla Guara. Quedó de manifiesto que para controlar la acidez era necesario regular cuidadosamente el nivel de las aguas subterráneas. Fue preciso entonces construir un sistema de drenaje mucho más extenso; y en 1973, en el curso de la segunda etapa de desarrollo de otras islas, se adoptó el sistema de Polders que permite un control más preciso del nivel freático.

Más difícil ha sido medir señales de cambio en el delta en la zona contigua al proyecto. Los mayores caudales de otros afluentes han repercutido sobre la vegetación, incluidos los manglares en algunas zonas. No ha habido un intento sistemático de evaluar estos efectos como base para diseñar un posible manejo correctivo, pese a que la CVG ha patrocinado la investigación y exploración de métodos de manejo de recursos en el delta que prescindan de la regulación del agua, especialmente en relación con la ganadería, los cultivos selectivos y la silvicultura.

## *2. Sistemas regidos por complejos urbanos*

En una región cuya población urbana crece 40/o anual y debe alcanzar casi 450 millones de habitantes a fines de siglo, los problemas de manejo del agua de los grandes complejos urbanos que ya casi no tienen paralelo, irán adquiriendo una importancia cada vez mayor. Si se mantienen las actuales tendencias hasta fines de siglo, las metrópolis más grandes del mundo serán Ciudad de México y São Paulo. Por ello resulta necesario considerar especialmente la fisonomía particular de los problemas de manejo del sistema hídrico urbano. A continuación se examina la experiencia de cuatro de los principales centros metropolitanos de la región a fin de adquirir una perspectiva de estos asuntos.

### *a) Bogotá*

Como la mayor parte de las ciudades grandes de Colombia, Bogotá está ubicada en el interior del país, en el valle del río Bogotá una altiplanicie formada por sedimentación lacustre. En un principio, la ciudad se ubicó al pie de las montañas situadas al oriente de la altiplanicie, pero luego se extendió a la sabana de Bogotá. Su población se ha duplicado cada diez años y no sorprende que su desarrollo físico haya sido un tanto desordenado. No sólo se extendió por la sabana, sino también por las montañas, triplicando su superficie en los últimos 30 años (véase el cuadro II-1). Se estima que la ciudad ocupa actualmente una quinta parte de la superficie de la sabana antes dedicada a la agricultura; a fines del presente siglo, de

Cuadro II - 1

## BOGOTÁ: CRECIMIENTO FÍSICO Y DEMOGRÁFICO

| Año  | Superficie<br>(km <sup>2</sup> ) | Población<br>(miles) | Tasas anuales de crecimiento |                            |
|------|----------------------------------|----------------------|------------------------------|----------------------------|
|      |                                  |                      | Superficie<br>(porcentajes)  | Población<br>(porcentajes) |
| 1950 | 42.10                            | 620.4                | 5.7                          | 7.4                        |
| 1960 | 73.60                            | 1 271.7              | 6.3                          | 7.1                        |
| 1970 | 136.10                           | 2 526.0              | 6.5                          | 6.9                        |
| 1980 | 256.76                           | 4 929.8              |                              |                            |

Fuente: Ligia Herrera y Waldomiro Pecht, *Crecimiento urbano de América Latina*, BID-CFLADF, Santiago, 1976.

mantenerse las tendencias actuales, casi toda la superficie agrícola restante estará edificada.

Dado su tamaño, Bogotá es una ciudad que cumple muchas funciones, y las actividades terciarias predominan en su economía; pero, es además un importante centro industrial, cuya producción alcanza casi a 30% de la producción manufacturera total de Colombia. En 1970 había en la ciudad 580 plantas industriales.

i) *La ciudad y los recursos hídricos.* A diferencia de la mayor parte de las ciudades latinoamericanas, Bogotá no se situó sobre un gran cuerpo de agua. Desde sus orígenes ha estado relativamente lejos del río Bogotá, y sólo hace poco el desarrollo urbano ha alcanzado sus márgenes. A pesar de ello, la relación entre la ciudad y el río es importante. El río y sus afluentes proporcionan a la ciudad y a sus habitantes energía, agua, lugares de recreación y medios de eliminación de residuos. A medida que crece la ciudad aumenta también el uso del río, y el incremento futuro de la demanda urbana significará que el río se transformará prácticamente en un producto de la ciudad.

Según sus usos, el valle del río puede dividirse en tres partes (véase el mapa II- 4)

La primera comprende la subcuenca alta que se extiende desde el nacimiento del río hasta la obra de regulación de El Espino que controla el nivel del río en Tibitó, lugar de la principal captación para suministro de agua. En esta subcuenca está la mayor parte de las obras de regulación. En



El Espino se garantiza un caudal igual a 700/o del promedio anual; el uso principal del agua en la parte superior del valle es para suministro municipal. La escasa población de la zona ha disminuido en los últimos años (véase cuadro II-2).

Cuadro II - 2

CUENCA DEL RÍO BOGOTÁ: DISTRIBUCION DE LA POBLACION, 1973

| <i>Zona</i>     | <i>Población</i> | <i>Cambio 1964 - 1973</i> |
|-----------------|------------------|---------------------------|
| Cuenca superior | 69 087           | - 0.2                     |
| Cuenca media    | 3 098 558        | 5.7                       |
| Cuenca inferior | 161 039          | - 1.9                     |

*Fuente:* DANE, *XIV Censo Nacional de Población y II de Vivienda, resultados provisionales*, Bogotá, 1974.

La segunda parte la constituye la subcuenca media, entre El Espino y la obra de regulación de Alicachín, en el curso inferior del río, y abarca la ciudad de Bogotá y recibe descargas de los diversos afluentes que pasan por la ciudad. En Bogotá la proporción de la población servida por los sistemas

Cuadro II - 3

CUENCA DEL RÍO BOGOTÁ: ESTIMACION DE LA  
DESCARGA DIARIA DE DESECHOS, 1973  
(Kg de DBO)

| <i>Fuentes de los desechos</i>                 | <i>Cuenca superior</i> | <i>Cuenca media</i> | <i>Cuenca inferior</i> |
|------------------------------------------------|------------------------|---------------------|------------------------|
| Doméstica                                      | 5 743                  | 321 409             | 15 085                 |
| Industrial                                     | 372                    | 60 673              |                        |
| Descarga natural                               | 2 760                  | 2 722               | 4 614                  |
| Transferencia de la cuenca superior a la media | —                      | 3 794               |                        |
| Transferencia de la cuenca media a la inferior | —                      | —                   | 127 830                |
| <i>Total</i>                                   | <i>8 875</i>           | <i>388 598</i>      | <i>147 529</i>         |

*Fuente:* Jaime Saldarriaga Sanín y Germán García Durán, *Análisis de la contaminación del río Bogotá y sus soluciones*, Bogotá, septiembre de 1976, (informe de consultoría preparado para PNUMA/CEPAL como parte del proyecto ADEMA).

de suministro de agua y alcantarillado es relativamente alta,<sup>42</sup> y el grueso de la carga de desechos, tanto de sólidos en suspensión como de demanda bioquímica de oxígeno (DBO), proviene de fuentes domésticas (Véase cuadro II-3).

En esta parte del río la intervención humana debe llegar en los próximos años a su más alto nivel. Se espera un fuerte crecimiento de la población, en vista de lo cual el río Bogotá no alcanzará a atender las necesidades de abastecimiento de agua. Chinghaza I, un proyecto actualmente en construcción, está destinado a traer agua del río Guatiquía, mediante túneles que cruzan la divisoria; se espera que comience a operar durante 1978. Este caudal adicional de 135 m<sup>3</sup>/seg significará un aporte neto a los caudales de la cuenca del Bogotá. La totalidad de este caudal entrará en el río Bogotá como descarga de desechos, lo que aumentará aún más el problema de la contaminación del curso inferior del río tras su paso por la ciudad.<sup>43</sup>

En el tramo vecino a Bogotá, el río y sus afluentes, especialmente el Tunjuelo, presentan crecidas estacionales. Para aminorar la gravedad del problema se ha propuesto enderezar y profundizar el río en este tramo, por cuanto no es posible prevenir las crecidas mediante un embalse aguas arriba.

En el punto más bajo de esta subcuenca se encuentra el embalse Muña, construido para regular el caudal del río del mismo nombre, afluente del Bogotá. Para aumentar la producción de energía de la cadena de estaciones generadoras aguas abajo, se bombea agua del río Bogotá a dicho embalse.

La tercera parte corresponde a la subcuenca baja que comienza con el rápido descenso del río entre Alicachín, a más de 2 500 metros sobre el nivel del mar y Mesitas, a menos de 1 000 metros sobre dicho nivel. En épocas de estiaje, el lecho principal del río suele quedarse seco, por cuanto toda el agua es derivada a través del embalse Muña al sistema de generación hidroeléctrica. El agua vuelve posteriormente al río en Mesitas. Tres pequeñas poblaciones —Anapima, Tocaima y Apulo— se abastecen de agua del río Bogotá. En la confluencia del río Bogotá y el Magdalena se encuentra el pueblo de Girardot, que descarga sus residuos en el Bogotá justo antes de dicha confluencia.

La calidad del agua del río, en términos de DBO y oxígeno disuelto (OD), cambia espectacularmente después de las descargas de Bogotá, se recupera algo debido a la retención en Muña y a la caída de 1 800 metros,

<sup>42</sup> En 1972, el 71% de la población tenía conexión domiciliaria del sistema de abastecimiento público de agua, y 68% estaba conectada al sistema de alcantarillado. Había 322 000 conexiones al primero y 300 000 al segundo.

<sup>43</sup> Aunque el aporte de este caudal es considerable en relación con el caudal medio anual de 26.4 m<sup>3</sup>/seg en Alicachín, es insignificante si se lo compara con los caudales máximos: la crecida máxima en los últimos 10 años fue de 700 m<sup>3</sup>/seg; en los últimos 50 años, de 1 000 m<sup>3</sup>/seg.

y vuelve a deteriorarse en la confluencia con el Magdalena debido a las descargas de Girardot. (Véase de nuevo el mapa II - 4.) Felizmente, el caudal medio anual del río Bogotá sólo alcanza un 40/o del caudal del Magdalena.

ii) *El sistema de manejo y la capacidad de respuesta* El sistema de manejo del agua del río Bogotá y de la ciudad de Bogotá está compuesto por tres entidades principales: la Corporación Autónoma Regional de la Sabana de Bogotá y de los Valles de Ubaté y Chiquinquirá (CAR), la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB) y la Empresa de Energía Eléctrica de Bogotá (EEEB). Además de estos tres organismos descentralizados y relativamente autónomos, existen varias otras instituciones gubernativas centrales y municipales cuyas actividades se relacionan con el manejo del agua, pero su influencia sobre el proceso de decisión es mucho menor.<sup>44</sup> (Véase el Gráfico II - 8.)

La CAR es un organismo descentralizado cuya jurisdicción incluye atribuciones para planificar y desarrollar los recursos hídricos y para operar y mantener las obras necesarias para dicho desarrollo. Sin embargo, la CAR no tiene jurisdicción sobre la Municipalidad de Bogotá y su autoridad no abarca todo el curso del río Bogotá: sólo alcanza las partes superior y media de la cuenca y termina en el Salto de Tequendama. (Véase de nuevo el mapa II - 4.) Recientemente la CAR ha sido designada organismo ejecutivo del nuevo código de recursos naturales renovables y de protección del medio ambiente dentro del ámbito de su jurisdicción.

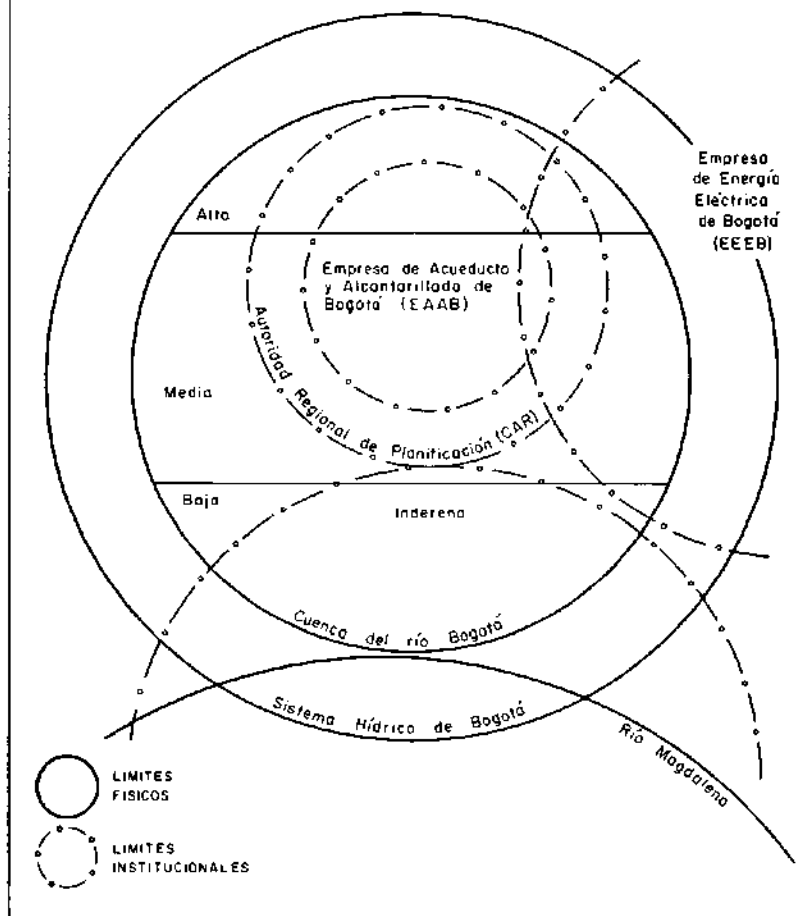
La EAAB es un organismo público autónomo perteneciente a la municipalidad del Distrito Especial de Bogotá y tiene la responsabilidad de planificar, construir y operar todos los servicios de suministro de agua, alcantarillado y drenaje de la municipalidad. Según la ley esta empresa debe autofinanciarse y todos los clientes deben pagar por los servicios.

La EEEB también es un organismo público autónomo perteneciente a la misma municipalidad. Proporciona energía eléctrica a consumidores que están fuera de esa jurisdicción y forma parte del sistema interconectado nacional. Tiene a su cargo la operación de las centrales eléctricas del río Bogotá.

De esas tres entidades sólo la CAR se ocupa de los recursos hídricos en sí. Tanto la EAAB como la EEEB suministran servicios específicos relacionados con el agua. El proceso de adopción de decisiones ha girado principalmente en torno al uso de los recursos de la cuenca para el abastecimiento de agua y la producción de electricidad. Simultáneamente el río se ha utilizado para eliminar las aguas servidas de Bogotá. Sólo en años recientes se ha prestado atención a la contaminación ocasionada por este uso, lo que puede atribuirse a la debilidad de los usuarios ubicados río abajo y a su total exclusión del sistema de adopción de decisiones.

<sup>44</sup> Estas incluyen el Ministerio de Salud y diversas instituciones dependientes, el Ministerio de Agricultura, especialmente el Instituto Nacional de los Recursos Naturales y del Ambiente (INDERENA), y el Instituto de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras (HIMAT).

Gráfico II-8  
CUENCA DEL RIO BOGOTÁ : LIMITES FISICOS  
E INSTITUCIONALES



La preocupación por la contaminación se habría originado en la decisión de traer agua desde fuera del valle para abastecer a la ciudad de Bogotá. Sin embargo, ninguna de las autoridades existentes puede hacerse cargo del problema dado que la CAR sólo tiene jurisdicción sobre la sabana y la EAAB, sobre el Distrito Especial. En la cuenca inferior el manejo del agua lo ejercen organismos del gobierno central que tienen menos influencia local - INDERENA y el Ministerio de Salud.

Por consiguiente, la principal respuesta legislativa de Colombia para el manejo del medio ambiente, el código de los recursos naturales renovables y de protección del medio ambiente, quizá vea constreñida su aplicación en la región de Bogotá debido a la discontinuidad de la responsabilidad institucional.

#### b) Santiago

Santiago está situada en la cuenca superior del río Maipo, sobre un afluente importante, el río Mapocho. La tasa de crecimiento demográfico en Santiago ha sido relativamente lenta, 3.80/o anual, si se la compara con la de otros grandes centros metropolitanos latinoamericanos. (Véase el cuadro II - 4.) La ciudad, que rige la economía de Chile, constituye con mucho la concentración más considerable de actividades secundarias y terciarias del país y ha crecido en desmedro de sus más cercanos competidores, especialmente Valparaíso. En 1967, el área metropolitana de Santiago acaparaba un 560/o del total del empleo del sector manufacturero.

Cuadro II - 4

#### SANTIAGO: CRECIMIENTO FISICO Y DEMOGRAFICO

| Año  | Superficie<br>(ha) | Población<br>(miles) | Tasas anuales de crecimiento |           |
|------|--------------------|----------------------|------------------------------|-----------|
|      |                    |                      | Superficie                   | Población |
| 1940 | 11 340             | 952                  |                              |           |
| 1952 | 15 970             | 1 353                | 2.9                          | 3.0       |
|      |                    |                      | 4.6                          | 4.3       |
| 1960 | 19 480             | 1 907                |                              |           |
| 1970 | 22 880             | 2 780                | 2.5                          | 3.8       |
| 1980 | 39 900             | 4 055                | 3.1                          | 3.8       |

Fuente: Herrera y Pecht, *op. cit.*

La zona urbana ha crecido en forma de estrella, a lo largo de las carreteras más importantes, en las planicies ubicadas entre la Cordillera de los Andes y la Cordillera de la Costa. La densidad es baja, y en consecuencia la superficie urbanizada es grande: 300 km<sup>2</sup> en 1970. Santiago está rodeada de tierras de riego, que desde sus comienzos han sido objeto de constante invasión: entre 1956 y 1970, 12.300 ha de tierras de riego fueron incorporadas a la zona urbana la que además ha absorbido numerosos sistemas de canales. (Véase mapa II - 5.)<sup>45</sup>

i) *La ciudad y los recursos hídricos.* La relación entre Santiago y la cuenca superior del Maipo refleja la complejidad del sistema hidrológico y su importancia para el desarrollo chileno. Las limitaciones de los recursos hídricos en el área metropolitana de Santiago destacan la necesidad de que las decisiones relativas al manejo del agua sean objeto de seria consideración. (Véase cuadro II-5.)

Pese a que Santiago está situada en el valle del río Mapocho, y que sólo recientemente el desarrollo continuo de la ciudad la ha hecho llegar hasta el curso mismo del Maipo, la relación entre la ciudad y este río viene de antiguo. El Maipo es la fuente de la mayor parte del abastecimiento público de agua, y los canales de regadío que extraen agua de su curso (en especial el canal San Carlos) aportan más de la mitad del caudal que tiene el Mapocho en la ciudad. Los caudales medios del Mapocho son demasiado pequeños como para tener importancia en la actual ciudad. Por lo tanto, el Maipo se ha transformado en el río de Santiago.

Cuadro II - 5

• SANTIAGO: FUENTE DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE  
(m<sup>3</sup>/seg)

| Fuente             | 1975               |                     | 2000               |                     |
|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------|
|                    | Captación<br>media | Captación<br>máxima | Captación<br>media | Captación<br>máxima |
| Río Maipo          | 10.7               | 17.0                | 24.3               | 37.4                |
| Río Mapocho        | 0.7                | 1.0                 | 1.7                | 2.6                 |
| Aguas subterráneas | 3.3                | 5.0                 | 2.9                | 4.4                 |
| Total              | 14.7               | 23.0                | 28.9               | 44.4                |

Fuente: L. Court M., H. Baeza S., y R. Gómez D., *Utilización del agua en la parte superior de la cuenca del río Maipo (Chile)*, Santiago, octubre de 1976.  
(Informe de consultoría preparado para PNUMA/CEPAL como parte del proyecto ADEMA.)

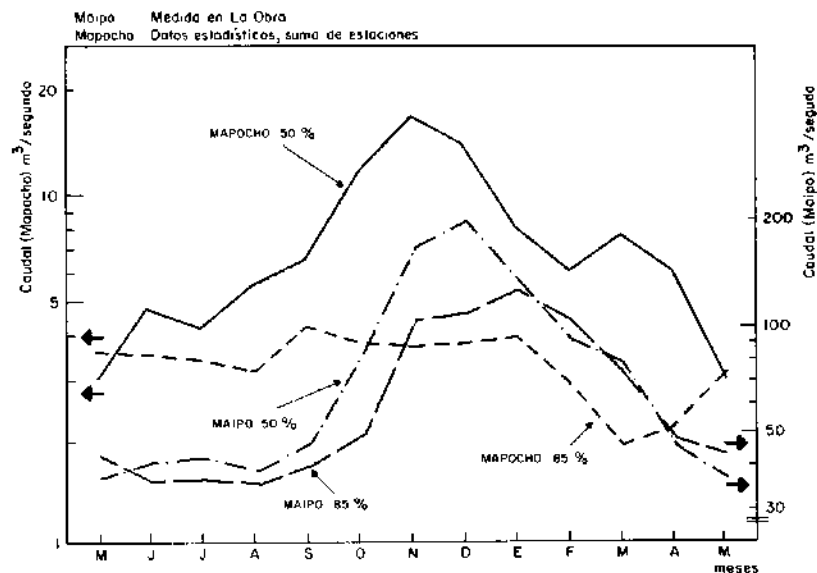
<sup>45</sup> Para una descripción de este fenómeno, véase Juan Escudero *et al.*, *Región central de Chile: Perspectivas de desarrollo*, CIDU-ODEPLAN, 1971.



El agua del cauce principal del Maipo y de los afluentes superiores, los ríos Yeso, Colorado y Volcán, se utiliza en su mayor parte para el riego y para el abastecimiento de agua de Santiago. Un promedio de casi 11 m<sup>3</sup>/seg se capta del Maipo para el sistema de abastecimiento de agua, y se estima que este volumen aumentará a 24 m<sup>3</sup>/seg a fines de siglo, lo que equivale a casi una tercera parte del caudal medio anual. La mayor parte del abastecimiento de agua potable llega al Mapocho en forma de descargas de aguas negras. Estas descargas, estimadas en 12 m<sup>3</sup>/seg en 1975, se dividen en descargas directas al Mapocho durante su paso por la ciudad y descargas al Zanjón de la Aguada, un afluente del Mapocho que corre por la parte suroeste más baja del área metropolitana. (Véase de nuevo el mapa II - 5.) Estas descargas exceden en mucho el caudal medio del Mapocho. (Véase el gráfico II - 9.) Afortunadamente, el nivel de contaminación disminuye en parte debido a la descarga de canales de regadío en el Mapocho, especialmente el Canal San Carlos, aunque muchos otros aportan algún caudal. Esta agua es en general de mejor calidad, pero está contaminada por escurrimientos urbanos y por conexiones ilegales de alcantarillado.

Gráfico II-9

RIOS MAIPO Y MAPOCHO : CAUDALES MEDIOS MENSUALES DE AÑOS HIDROLÓGICOS CON PROBABILIDADES 50% Y 85%  
(Series históricas)



Fuera de satisfacer la demanda doméstica e industrial del área metropolitana de Santiago, el agua de la cuenca superior del Maipo se emplea principalmente para la agricultura. Desde 1940, las tierras de riego han sido continuamente invadidas por la ciudad. En 1975 había alrededor de 109 500 ha con infraestructura de riego, de las cuales sólo 87 000 se regaban efectivamente. Se estima que esta superficie se reducirá a alrededor de 46 000 ha a fines de este siglo, debido al crecimiento urbano directo, que abarcará 10 000 ha, y al mayor uso del agua para el suministro urbano.

Un aspecto particular de la relación entre la ciudad y el riego consiste en la contaminación creciente y sostenida del agua de riego que ha pasado por Santiago. El ejemplo más destacado lo constituye un pequeño sector próximo al oeste de la zona urbana, que se riega con aguas de pésima calidad provenientes del Zanjón de la Aguada. (Véase nuevamente el mapa II - 5.) Se sospecha que su utilización para el riego de las hortalizas destinadas a Santiago da origen a gran parte de las enfermedades relacionadas con el agua que se producen en la ciudad.<sup>46</sup>

La interacción entre la ciudad y el riego incluye también la existencia de numerosos canales de regadío en el área urbana: algunos están abandonados, pero muchos siguen en uso. Se ha estimado que existen alrededor de 280 km de canales de diversos tipos, los cuales deberán cubrirse para eliminar las inundaciones y los problemas sanitarios que actualmente producen.

En suma, la cuenca superior del Maipo ofrece un caso clásico de usos cambiantes y contrapuestos del agua. Un sistema hídrico que en un principio desarrolló fuertemente el riego se ha visto dedicado predominantemente a los usos urbanos: el suministro de agua para usuarios domésticos e industriales y la eliminación de desechos. En una situación de relativa escasez esos usos resultan incompatibles, y esa incompatibilidad se propaga hacia la cuenca inferior a medida que aumenta la descarga de desechos de Santiago.

ii) *El sistema de manejo y la capacidad de respuesta.* A primera vista, el sistema de manejo del agua en Santiago y en la cuenca superior del Maipo parece claro. De acuerdo con la legislación chilena, la utilización de los recursos hídricos está controlada por la Dirección General de Aguas (DGA) del Ministerio de Obras Públicas.

En realidad, la separación de funciones entre la DGA y otros organismos del sector público no está bien definida, lo que ha llevado a la superposición de actividades y a una insuficiente atención al recurso mismo. (Véase gráfico II - 10.)

El conflicto entre el regadío y los usos urbanos está lejos de haber sido resuelto. Ni siquiera ha sido posible subsanar el problema de la alcantarilla abierta del Zanjón de la Aguada que se utiliza para regadío, pero que es un

<sup>46</sup> Se estima que en 1975 hubo 4 500 casos de tifoidea, con 67 muertes; 60 000 casos de diarrea infantil, con 1 500 muertes; 1 800 casos de hepatitis viral, con 36 muertes; y 700 000 casos de parasitosis. (Véase L. Accatino, *et al.*, *Contaminación fecal de la ciudad de Santiago*, Santiago, 1974.)

Gráfico II-10

SANTIAGO Y RIO MAIPO: LIMITES FISICOS E INSTITUCIONALES

El diagrama muestra una representación simplificada de la zona de Santiago y Río Maipo. Un círculo grande con una línea punteada exterior y una línea sólida interior define el área principal. Dentro de este círculo, se encuentran varias entidades:

- Un círculo con una línea punteada exterior y una línea sólida interior, etiquetado como "A de C" (Asociación de Ciudadanos).
- Un círculo con una línea punteada exterior y una línea sólida interior, etiquetado como "A de C" (Asociación de Ciudadanos).
- Un círculo con una línea punteada exterior y una línea sólida interior, etiquetado como "A de C" (Asociación de Ciudadanos).
- Un círculo con una línea punteada exterior y una línea sólida interior, etiquetado como "A de C" (Asociación de Ciudadanos).
- Un círculo con una línea punteada exterior y una línea sólida interior, etiquetado como "A de C" (Asociación de Ciudadanos).

Las líneas punteadas representan los límites físicos, y las líneas sólidas representan los límites institucionales. Se observan también líneas rectas que dividen el espacio, posiblemente representando carreteras o canales de riego.

LEYENDA:

- LIMITES FISICOS
- LIMITES INSTITUCIONALES

ASOCIACIONES DE CIUDADANOS

90

Debido a esta situación, no sorprende que la respuesta haya consistido en tratar de paliar el conflicto en vez de resolverlo. Se propone un aumento del suministro de agua por derivación del río Cachapoal, que es el río más cercano a Santiago en dirección sur.<sup>48</sup> Dicha derivación permitiría satisfacer las necesidades del área metropolitana, mantener y hasta aumentar la zona regada y diluir más las descargas de desechos. Sin embargo, no contribuiría en forma importante a resolver el problema de la contaminación.

### c) *Río de Janeiro*

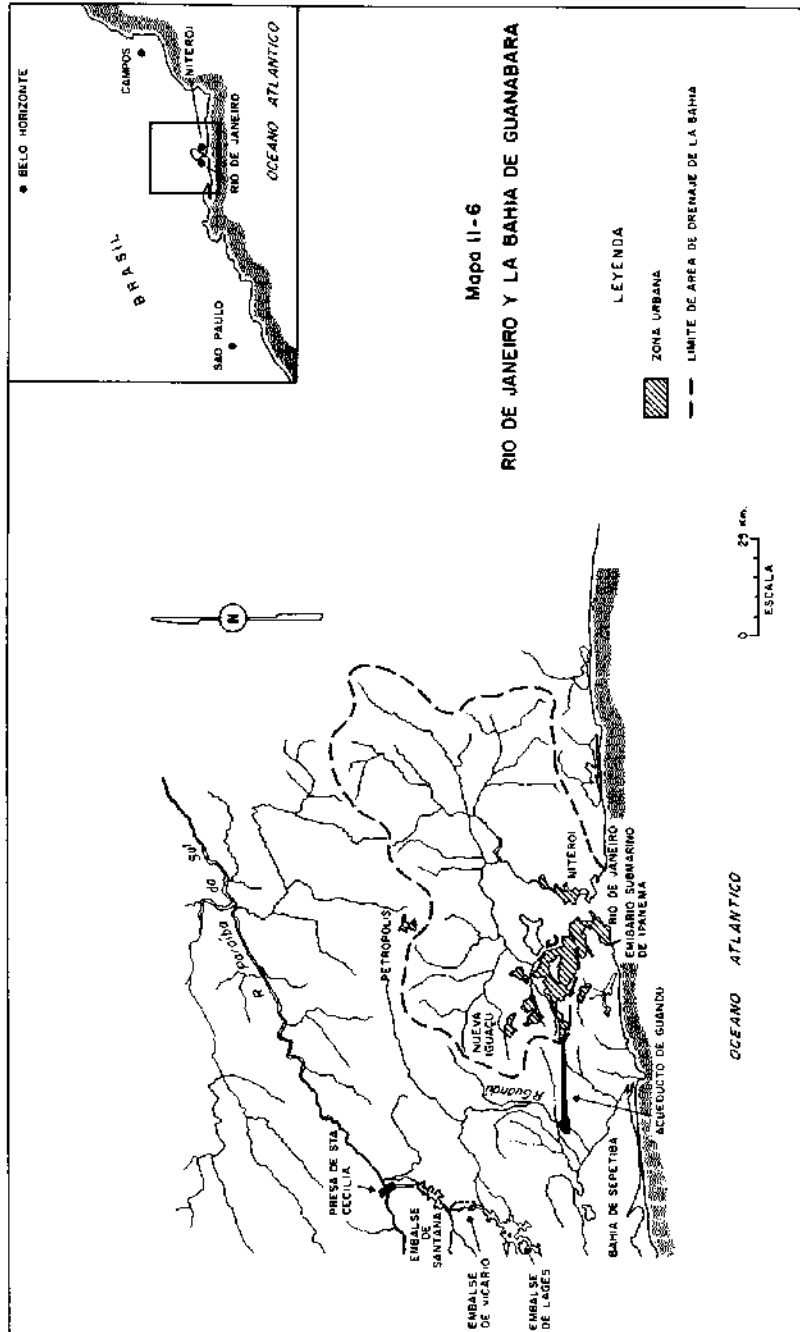
Río de Janeiro fue la ciudad rectora del Brasil. Recientemente São Paulo la ha sobrepasado como la ciudad más populosa del país, pero continúa siendo un centro metropolitano como pocos. Sólo São Paulo la supera como centro industrial, pese a que su correspondiente tasa de crecimiento sectorial ha sido más lenta en este último tiempo. En cuanto a actividades terciarias, Río de Janeiro sigue dominando la economía brasileña no sólo por el comercio, sino como uno de los principales puertos y el mayor centro turístico de América del Sur.

Río de Janeiro está situada en la Bahía de Guanabara, un magnífico puerto natural de 381 km<sup>2</sup> de extensión. En sus comienzos la zona urbana estuvo situada en la bahía misma, relativamente cerca de su entrada; desde entonces ha crecido hasta la costa del Atlántico atravesando y rodeando la bahía, y también hacia el interior por el valle del Iguazú y otros afluentes. (Véase el mapa II - 6.) La tasa de crecimiento demográfico disminuyó durante los años sesenta a 3.1% anual; sin embargo, en cifras absolutas la población aumenta en un cuarto de millón de habitantes cada año. (Véase cuadro II - 6.) La zona urbanizada excede los 850 km<sup>2</sup>.

i) *La ciudad y los recursos hídricos.* La relación entre Río de Janeiro y la Bahía de Guanabara es compleja. En primer lugar, la bahía es uno de los elementos fundamentales de la magnífica situación geográfica de la ciudad. Es además un lugar para recreación de todos los tipos, un puerto de importancia, un lugar tradicionalmente utilizado para la pesca y el sitio donde se descargan la mayor parte de los residuos domésticos e industriales de la región metropolitana.

Debido al crecimiento continuo de la zona metropolitana, la bahía sufre una contaminación cada vez mayor ocasionada por las descargas domésticas e industriales, el vaciamiento de desechos sólidos, el petróleo de barcos y de la costa, y el escurrimiento urbano general. Al menos en ciertas zonas de la bahía, la contaminación ha llegado a un nivel tan alto que limita otros usos del agua. Los múltiples usos de la bahía se encuentran cada vez

<sup>48</sup> El río Cachapoal es el afluente más importante del curso superior del río Rapel. Este último se utiliza para la generación de energía hidroeléctrica y también para riego. Es posible que cualquier desvío del Cachapoal exija reemplazar ese caudal, lo que daría lugar a una reacción en cadena de grandes proporciones, exigiendo el desvío sucesivo hacia el norte del agua de diversos ríos del sur.



## RIO DE JANEIRO: POBLACION DEL AREA METROPOLITANA

| <i>Superficie</i>     | <i>1940</i>      | <i>1950</i>      | <i>1960</i>      | <i>1970</i>      |
|-----------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Suburbios del norte   | 225 637          | 469 394          | 1 272 750        | 1 836 100        |
| Río de Janeiro        | 1 764 141        | 2 377 451        | 3 307 163        | 4 315 746        |
| Niteroi y São Gonçalo | 231 935          | 313 585          | 496 754          | 754 517          |
| <i>Total</i>          | <i>2 221 713</i> | <i>3 160 430</i> | <i>5 076 667</i> | <i>6 906 363</i> |

*Fuente:* V. Coelho y M. R. Monteiro de Barros da Fonseca, *Estudio do caso de poluição das águas da Baía de Guanabara*, Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente (FEEMA), Río de Janeiro, octubre de 1976. (Informe de consultoría preparado para PNUMA/CEPAL como parte del proyecto ADEMA.)

más amenazados, lo cual puede redundar en un deterioro de la posición de Río de Janeiro como centro turístico para algunos deportes acuáticos y perturbar asimismo la muy especial "cultura carioca".

Actualmente, los desechos domésticos se vacían en la bahía y también directamente al Océano Atlántico mediante un emisario submarino ubicado frente a la playa de Ipanema. (Véase el cuadro II - 7.)<sup>49</sup> La descarga en la bahía puede dividirse entre la que proviene del sistema de alcantarillas y la que se vacía directamente en la misma bahía o, lo que es más común, en una corriente afluyente.<sup>50</sup>

Estas descargas pueden dificultar la utilización continua de las playas de la bahía para deportes acuáticos. (Véase de nuevo el mapa II - 6). El promedio mensual de usuarios de dichas playas es de un millón. La creciente contaminación ha destruido prácticamente la industria pesquera en la bahía, limitándola a peces de muy baja calidad.

El suministro público de agua es la parte más importante del sistema de recursos hídricos de Río de Janeiro que no está afectada por la contaminación de la Bahía de Guanabara. Dicho sistema obtiene agua de varias fuentes, pero la mayor parte de ella proviene del río Guandú, el cual desemboca en la bahía de Sepetiba, al oeste de la ciudad. El Guandú recibe en último término el agua del río Paraíba do Sul, desviada en Barra do Pirai y destinada originalmente a la producción de energía hidroeléctrica.

<sup>49</sup> Una pequeña proporción de estos desechos es sometida a tratamiento antes de ser vaciada, tal vez unos dos m<sup>3</sup> por segundo, de un total 10 veces mayor.

<sup>50</sup> Se ha estimado que alrededor de 2.5 millones de habitantes de la zona metropolitana tienen viviendas sin alcantarillado; un millón más vive en lugares conectados a las redes de evacuación de agua de lluvia.

Cuadro II-7

RIO DE JANEIRO: CUERPO DE AGUA RECEPTOR,  
FUENTE Y VOLUMEN DE LAS DESCARGAS DE DESECHOS, 1975  
(Kg/día)

| <i>Cuerpo de agua y fuente de descarga</i> | <i>Kg de DBO/día</i> | <i>Porcentaje del total</i> |
|--------------------------------------------|----------------------|-----------------------------|
| <i>Bahía de Guanabara</i>                  |                      |                             |
| Descargas municipales                      |                      |                             |
| Zona con alcantarillado                    | 112 318              | 24.2                        |
| Pozos sépticos y zonas rurales             | 143 341              | 30.8                        |
| Favelas                                    | 55 472               | 11.9                        |
| Subtotal                                   | 311 131              | 66.9                        |
| Descargas industriales                     | 92 498               | 19.9                        |
| <i>Total</i>                               | <i>403 629</i>       | <i>86.8</i>                 |
| <i>Océano Atlántico</i>                    |                      |                             |
| Descargas municipales <sup>a</sup>         | 58 684               | 12.6                        |
| Descargas industriales                     | 2 748                | 0.6                         |
| <i>Total</i>                               | <i>61 432</i>        | <i>13.2</i>                 |
| <i>Total de Río de Janeiro</i>             | <i>465 061</i>       | <i>100.0</i>                |

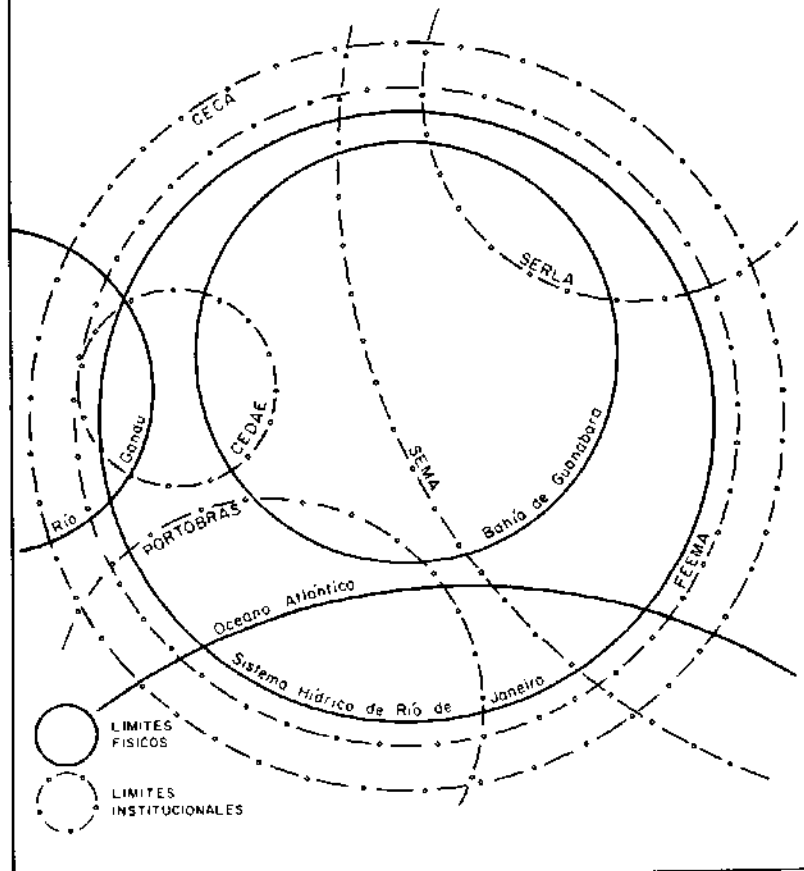
Fuente: FEEMA.

<sup>a</sup> Todas de zonas con alcantarillado.

ii) *El sistema de manejo y la capacidad de respuesta.* El manejo de la calidad del medio ambiente en el Estado de Río de Janeiro se reorganizó en 1975, cuando se estableció un sistema relativamente centralizado y compacto. (Véase gráfico II - 11.) El organismo principal es la Comissão de Controle Ambiental (CECA), la cual dentro del Estado es responsable del cumplimiento de las normas ambientales, de calidad y de su respectiva reglamentación. Entre sus atribuciones está la de otorgar permisos para todas las actividades que podrían producir contaminación. Además de la CECA, existen tres organismos operativos estatales: la Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente (FEEMA), la Superintendencia Estadual de Rios e Lagos (SERLA), y la Companhia Estadual de Aguas e Esgotos (CEDAE).

La FEEMA es el organismo ejecutivo de la CECA, y se encarga además de la investigación aplicada a los problemas ambientales y de la elaboración de normas y medios de control. La SERLA es responsable de obras relacio-

Gráfico II-II  
RIO DE JANEIRO Y BAHIA DE GUANABARA:  
LIMITES FISICOS E INSTITUCIONALES



nadas con la regulación de caudales y la recopilación de datos hidrológicos. Finalmente, la CEDAE maneja los sistemas de suministro de agua y de alcantarillado.

El gobierno federal tiene un papel mínimo en el manejo de la calidad del medio ambiente en la bahía aunque la Secretaría Especial do Meio Ambiente (SEMA), del Ministerio del Interior, establece las normas de calidad para las aguas costeras, que rigen en la Bahía de Guanabara. Existen dos usuarios federales de la bahía y que tienen alguna importancia en su manejo: la autoridad portuaria (PORTOBRAS), y la Marina. Ambos se ocupan del control de la contaminación proveniente de barcos, especialmente de las descargas de petróleo.

El sistema de manejo ha otorgado bastante prioridad al estudio de cómo podría mejorarse la calidad ambiental en Guanabara; este mejoramiento se procura sobre todo controlando el uso de las aguas de la bahía como receptoras de residuos.

Para comprender el efecto de las descargas de desechos en la bahía, la FEEMA ha desarrollado modelos de simulación del comportamiento de la bahía en cuanto a salinidad, bacterias coliformes, OD y DBO.<sup>51</sup>

Basándose en dichos modelos, puede simularse la reacción de la bahía ante descargas en diversos puntos. Se ha descubierto que una cuidadosa selección del lugar de descarga, junto con el tratamiento de las aguas servidas, permite utilizar la bahía como receptora de residuos y mantener al mismo tiempo la calidad del agua suficientemente buena para los demás usos.

El problema que se plantea es determinar el nivel de calidad del agua que debe buscarse. Dados los usos actuales de la bahía, se han establecido varias opciones posibles de calidad del agua. Estas son las siguientes: un nivel de calidad suficiente para garantizar la continuación de todos los usos - recreación, navegación, pesca comercial, refrigeración industrial y fines estéticos - en todos los lugares de la bahía; y la división de la bahía en zonas de uso y el establecimiento de normas de calidad que permitan diversas combinaciones de usos, tales como: recreación acuática en la zona 1, uso de la zona 3 para fines estéticos y navegación en las zonas 2 y 4; pesca comercial en la zona 2, uso de las zonas 1 y 3 para fines estéticos y navegación en la zona 4; uso de las zonas 1 y 3 para fines estéticos y navegación en las zonas 2 y 4; y sólo navegación en toda la bahía.

Evaluable un número limitado de combinaciones de eliminación y tratamiento de desechos simuladas en el estudio, se concluyó que las normas de calidad propuestas para la primera combinación de usos podrían cumplirse respecto de los coliformes totales y el OD el año 2010, destinando por lo menos el 90% de la bahía al esparcimiento de contacto primario y secundario.

<sup>51</sup> Para una descripción de dichos modelos véase Víctor Monteiro Barbosa Coelho y María Regina Monteiro de Barros da Fonseca, *Modelos bidimensionais de qualidade de água e econômicos para a Baía de Guanabara*, Río de Janeiro, 8º Congreso Brasileiro de Engenharia Sanitária, Seção do Estado de Río de Janeiro, Río de Janeiro, 14 a 19 de diciembre de 1975.

dario, y suponiendo una eliminación de desechos en la bahía y tratamiento primario. Las violaciones de las zonas restantes obedecen sobre todo a las descargas incontroladas y no tratadas procedentes de las favelas. Actualmente, se viene desarrollando un modelo de minimización de costos para seleccionar un esquema de descargas que ofrezca la calidad de agua deseada para cada opción propuesta.

La FEEMA estima que la alternativa de descargar los desechos en el océano se vería limitada por la necesidad de construir todas las obras al mismo tiempo. La alternativa de mantener las descargas en la bahía, dándoles tratamiento primario o secundario, resultaría más cara, pero permitiría que la construcción, y por ende la inversión, se realizara en etapas durante un período de tiempo mucho más largo. El control de las descargas domésticas iría unido al control de las descargas industriales y de la contaminación proveniente de los terminales de petróleo.

#### d) *São Paulo*

El área metropolitana de São Paulo es el centro industrial y urbano más grande del Brasil. La población en 1970 alcanzaba a 8 137 000 habitantes, y la superficie urbana a alrededor de 7 950 km<sup>2</sup>. Además de su tamaño y de la correspondiente magnitud del uso del agua, la característica hidrológica más sobresaliente de São Paulo es el complejo sistema hidráulico desarrollado para generar energía hidroeléctrica.

i) *La ciudad y los recursos hídricos.* São Paulo está situada en la cuenca superior del Tiete, afluente del Paraná. El caudal medio del río al pasar por São Paulo es de 87 m<sup>3</sup>/seg. La ciudad se encuentra también próxima a la costa atlántica a unos 700 m sobre el nivel del mar. Entre los años 1930 y 1960 se aprovechó esta situación privilegiada de disponer de un recurso hídrico próximo a una gran diferencia física de altitud para la generación de energía hidroeléctrica. Mediante la construcción de un complejo sistema de represas, embalses, estaciones de bombeo y canales, se logró obtener un caudal de 84 m<sup>3</sup>/seg (Véase mapa II - 7.)

La estructura del sistema es la siguiente: una represa en Pirapora, sobre el Tiete controla el caudal del Tiete y el Juquerí, un afluente que se une al Tiete en este lugar. La represa de Pirapora está a 648 m sobre el nivel del mar. Desde ella el agua es elevada por las estaciones de bombeo Edgar de Souza, Traicho y Pedreira, vía el canal Pinheiros, hasta el embalse Billings, situado a 747 m sobre el nivel del mar. Dicho embalse está formado por la presa das Pedras y otra situada en la división de las aguas entre la costa y el interior. Del embalse Billings, el agua corre por gravedad hacia el Océano Atlántico. En esta parte del sistema se ubica la estación de generación hidroeléctrica de Cubatao, con una capacidad instalada de 860 MW. Alrededor de 20% es decir 18.7 m<sup>3</sup>/seg, del caudal que fluye a través del sistema Pinheiros-Billings se utiliza para el abastecimiento de agua de São Paulo. (Véase cuadro II - 8.)



SÃO PAULO: FUENTES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE, 1974  
(Caudal total 18.7 m<sup>3</sup>/seg.)

| <i>Fuente</i>        | <i>Porcentajes</i> |
|----------------------|--------------------|
| Río Claro            | 12.8               |
| Río Grande           | 11.3               |
| Embalse Guarapiranga | 56.2               |
| Embalse Cotia        | 6.4                |
| Cantareira           | 11.2               |
| Otras                | 2.1                |
| <i>Total</i>         | <i>100.0</i>       |

*Fuente:* Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), São Paulo, 1974.

Se estima que actualmente las descargas de desechos de São Paulo alcanzan a unos 20 m<sup>3</sup>/seg. De dicha cantidad sólo alrededor de 0.8 m<sup>3</sup>/seg recibe tratamiento en la planta de depuración de aguas negras de Pinheiros. La otra planta de tratamiento de aguas negras de la ciudad, Leopoldinha, no ha funcionado desde 1967. Si se subsanaran las deficiencias en el suministro de agua y en la captación de aguas servidas, se estima que aumentaría inmediatamente el caudal de desechos, hasta llegar a 23 m<sup>3</sup>/seg. Se ha calculado asimismo que sólo una tercera parte de la carga de DBO llega al sistema del Tiete a través del alcantarillado.<sup>52</sup> Está en curso una gran ampliación del sistema de suministro de agua; sin embargo, la extensión del sistema de captación de aguas servidas, que actualmente abarca sólo un 350/o de la población, demorará mucho más tiempo. Aun así, se espera que en el año 2000 los caudales de aguas servidas alcanzarán casi 100 m<sup>3</sup>/seg lo que excede considerablemente las disponibilidades naturales en la cuenca superior del Tiete.

Como era de esperarse, todos los cuerpos de agua en el área del gran São Paulo presentan fuerte contaminación, excepto el embalse protegido de Guarapiranga y los últimos 6 km del embalse Billings. Durante la estación seca, todo el sistema es anaeróbico desde la municipalidad de Taquaquecetuba hasta la represa de Pirapora y al revés, siguiendo el agua bombeada por el curso del canal Pinheiros hasta el embalse Billings, e incluyendo todos los afluentes urbanos del Tiete ubicados aguas abajo de Taquaquecetuba. En la estación lluviosa, algunas partes mejoran en cuanto a niveles de oxígeno disuelto los que equivalen a la tercera parte del nivel de saturación. El agua que vacía el embalse Billings por el río das Pedras es, en

<sup>52</sup> En 1972, llegaban al río 160 toneladas diarias de DBO a través del sistema de alcantarillado, y 303 toneladas a través de desechos dispersos.

cambio, de buena calidad con una DBO de 1 a 2 mg/litro y un nivel de oxígeno disuelto de 5.5 mg/litro. Por lo tanto, el embalse Billings actúa como un gran estanque de oxidación y como sumidero de los contaminantes del área metropolitana.

ii) *El sistema de manejo y la capacidad de respuesta.* Como era de esperar, existen grandes semejanzas entre los sistemas de manejo de São Paulo y Río de Janeiro. La organización institucional del manejo de la calidad ambiental en el Estado de São Paulo fue reexaminada recientemente, a fin de crear un sistema centralizado.<sup>53</sup>

El eje del sistema revisado es la Companhia de Engenharia Tecnológica e Saneamiento Básico (CETESB). La CETESB, que es una empresa autónoma de la Secretaria Estadual de Obras e Meio Ambiente (SOMA), tiene autoridad para controlar todas las actividades que podrían producir contaminación; para vigilar la calidad del medio ambiente, incluso la del agua; para diseñar y evaluar técnicas de control de la contaminación; y para capacitar a los respectivos especialistas. Sus actividades incluyen la evaluación de todas las proposiciones para eliminar desechos en el gran São Paulo. Sin embargo, la CETESB no está encargada de la construcción ni de la operación de las obras. Estas últimas se dividen entre dos organismos, la Companhia de Saneamiento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), responsable de los sistemas de agua potable y alcantarillado, y la Direção de Água e Energia Elétrica (DAEE), encargada de todas las demás construcciones relacionadas con el agua. Asimismo, forman parte del sistema sus principales usuarios, incluso la compañía que maneja la estación de energía hidroeléctrica de Cubatao (la Light). Al igual que en Río de Janeiro, hay organismos federales encabezados por la SEMA, y en forma menos directa por el BNH, que tienen ingerencia en el problema. (Véase el gráfico II - 2.)

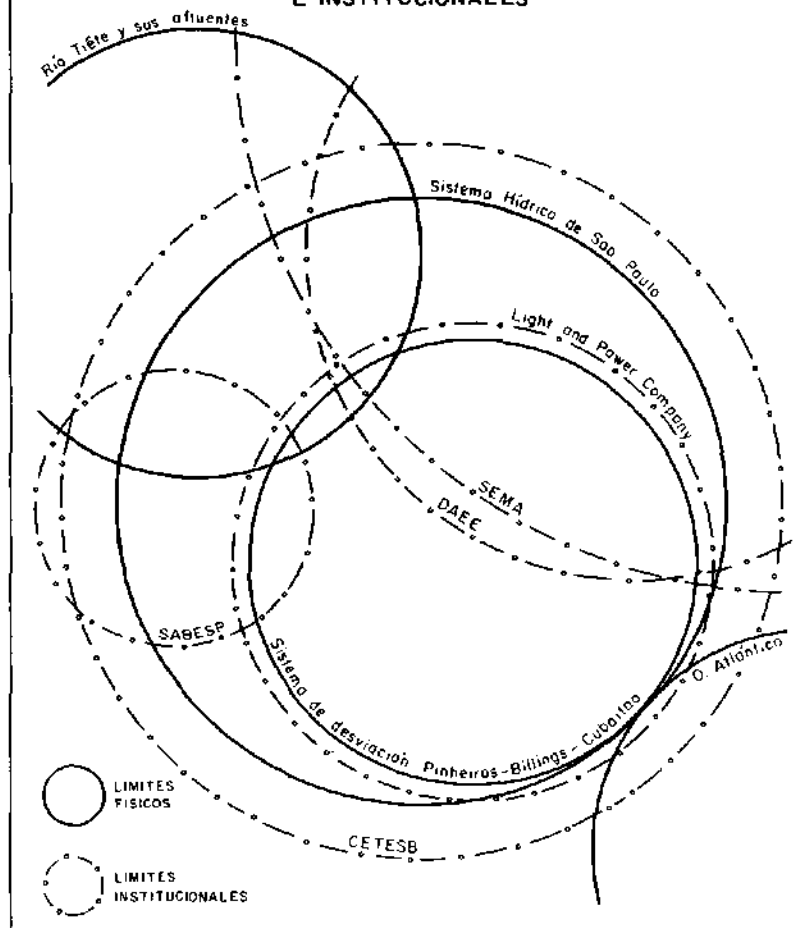
En la metrópoli de São Paulo, la situación actual del sistema hídrico tiene las siguientes características: gran contaminación y aspecto desagradable de todas las corrientes de agua, así como peligro para la salud por causa de las crecidas de dichas corrientes y del acceso de la población a ellas; contaminación creciente del embalse Billings, que constituye una fuente de suministro de agua y un lugar de recreación para los habitantes de la región; necesidad de subsanar las deficiencias de que adolecen el suministro de agua y el servicio de alcantarillado, las cuales agravarán en general, el problema de la contaminación y especialmente las contrapuestas presiones sobre el embalse Billings.

Ante estos hechos, la respuesta básica ha sido reconocer la necesidad de subsanar las deficiencias del suministro de agua y del alcantarillado, y de controlar la contaminación separando los caudales de aguas servidas de los destinados a la generación de energía hidroeléctrica. Los objetivos del manejo se han definido como sigue: proporcionar abastecimiento de agua

<sup>53</sup> Estas reformas de los sistemas estatales de manejo del medio ambiente se debieron en gran parte a la presión del BNH a través del programa nacional de suministro de agua y alcantarillado (PLANASA).

Gráfico II-12

SAO PAULO Y EL RIO TIÊTE: LIMITES FISICOS  
E INSTITUCIONALES



potable y conexión al sistema de alcantarillado para el 950/o de la población de la zona metropolitana antes del año 2000; racionalizar los sistemas de desagües sanitarios y de aguas pluviales, mediante la construcción de interceptores sanitarios a lo largo de todas las principales corrientes de agua; y someter a tratamiento los desechos sanitarios recolectados en los interceptores antes de descargarlos en el caudal destinado a la generación hidroeléctrica.

Las proposiciones para alcanzar dichos objetivos pueden dividirse en dos grupos: primero, un conjunto de estudios previos que propone descargar los desechos en el embalse Billings y cerrar algunos de sus brazos para utilizarlos como estanques de decantación; y segundo, estudios posteriores que sugieren descargar los desechos en el Tiete, en Pirapora. Esta última proposición constituye actualmente la solución oficial, y fue propuesta en 1974 por la SABESP.

Las primeras soluciones proponían bombear las aguas servidas recolectadas nuevamente al embalse Billings desde puntos de recolección ubicados en la confluencia del Pinheiros y el Tiete. Estas aguas servidas serían sometidas a una depuración primaria en das Pedras y se verterían en los brazos occidentales del embalse Billings. La propuesta de la SABESP incluye la construcción de un túnel entre la planta de depuración de aguas servidas de Leopoldina y el río Juquerí, y la utilización del último tramo de este río como estanque de decantación. (Véase nuevamente mapa II - 7.) Al mismo tiempo, los brazos del embalse Billings serían separados de su parte principal y protegidos, para destinarlos al abastecimiento de agua y a usos recreativos. El agua proveniente del estanque de decantación de Juquerí volvería al sistema Tiete-Pinheiros a través del embalse Pirapora.

Para la más reciente proposición de la SABESP se señalan las siguientes ventajas: menor costo, utilización de métodos conocidos en vez de tecnología no convencional de redes de alcantarillado de alta presión, posibilidad de construcción relativamente rápida y conformidad con los planes y programas existentes de desarrollo regional y utilización de los terrenos. En particular, el plan sacaría las aguas servidas de la zona urbanizada para llevarlas al aislado valle del bajo Juquerí, y, por lo tanto, reduciría la proyectada carga de DBO del embalse Billings, de más de 1 000 toneladas al día de las primeras proposiciones a menos de 300 toneladas diarias.

### Capítulo III

#### VISION GLOBAL DE LOS PROBLEMAS QUE CONFRONTA EL MANEJO DE LOS RECURSOS HIDRICOS

Al pasar revista a las principales cuestiones que plantean los casos analizados en relación con el manejo de los recursos hídricos, una nueva clasificación de las situaciones y problemas que confronta el manejo podría quizá ayudar a determinar dónde encontrará mayor aplicación la experiencia adquirida. En el cuadro I - 1 los casos se dividieron, primero, en sistemas hídricos regidos por complejos urbanos o por obras de regulación. En seguida, los sistemas se clasificaron según la clase de cuerpo de agua, el tipo de río y el clima. Luego se hizo la distinción según el uso específico del cuerpo de agua y, finalmente, atendiendo a si los problemas ambientales surgen de la utilización de los recursos naturales en la cuenca superior de los ríos o de las repercusiones aguas abajo que tenga un determinado uso del agua.

Esta clasificación se basa en la premisa de que todas estas características tienen importancia decisiva para el manejo de los recursos hídricos y conexos, en general, y para abordar los problemas ambientales, en particular. No obstante, el análisis de los casos indica que los problemas claves del manejo de los recursos responden a una tipología ligeramente diferente. No cabe duda que un factor decisivo es el hecho de que se trate o no de una situación urbana y de él depende la mayor parte de las demás características importantes. En realidad, el problema del transporte y dilución de desechos sólo es significativo en los sistemas hídricos utilizados principalmente por complejos urbanos, y la clase de cuerpo de agua importa únicamente en esos casos.<sup>54</sup> En los sistemas hídricos regulados, la modificación del sistema en sí misma no ha sido la causa determinante de los

<sup>54</sup> Evidentemente, en el caso de algunas grandes industrias aisladas, como las de celulosa y papel o la extracción y refinación de minerales, el transporte de desechos revestiría importancia en las situaciones no urbanas.

problemas de manejo y se diría que éstos han resultado más bien del uso de los recursos de tierra y forestales conexos; al parecer, el tipo de río y el clima no han sido muy importantes para el manejo. En cambio, tres características no enumeradas en el cuadro 1-1, que se centran en el marco institucional, parecen ser de suma importancia para el manejo:

- i) la información existente sobre el recurso y sus usos;
- ii) la capacidad técnica para formular los problemas de manejo y analizar la información con que se cuenta para abordar estos problemas; y
- iii) la organización y la capacidad gestora del usuario del agua, o de los organismos de manejo para utilizar la información y la capacidad técnica disponible en apoyo de las decisiones que se tomen sobre el uso del agua y de los recursos conexos.

En el resto del capítulo se investigará más a fondo la base de clasificación de los problemas del manejo de los recursos hídricos y del medio ambiente. De esta forma se tendrá un punto de partida para interpretar algunos problemas importantes de manejo que revelaron los casos de complejos urbanos y de regulación del caudal de los ríos, y las dimensiones institucionales implícitas en el proceso de administración de los recursos hídricos.

### *1. Clasificación de los problemas*

#### *a) Los sistemas regidos por complejos urbanos frente a los regidos por obras de regulación*

El estudio de los casos de cuatro centros metropolitanos principales revela una serie de características comunes en cuanto a desarrollo urbano, uso de los recursos hídricos y las repercusiones consiguientes en la calidad ambiental. Estas semejanzas se dan pese a las diferencias de ubicación geográfica y de sistema institucional que caracterizan a esos centros. La misma analogía se observa sin excepción en todos los grandes conglomerados urbanos de América Latina. En general, la situación podría resumirse señalando que el abastecimiento público de agua, de servicios de alcantarillado y de desagües es deficiente, la eliminación de aguas servidas domésticas e industriales ha deteriorado seriamente la calidad de los recursos hídricos en las inmediaciones de las zonas urbanas y la creciente expansión de la superficie urbanizada, ha modificado el régimen hidrológico.

En los casos de regulación del agua, la preocupación por el medio ambiente se origina en la incertidumbre que acompaña a la modificación del régimen de un río con fines de desarrollo, la que luego se manifiesta en el funcionamiento de los sistemas naturales o socioeconómicos. Un motivo de preocupación lo constituyen las propiedades de los sistemas hídricos y conexos, es decir, la relación entre los suelos, el agua, la flora y la fauna. Las manifestaciones físicas y químicas son quizá las que se identifican más fácilmente - la salinización del suelo y del agua; la oxidación, acidificación,

formación de capas concrecionadas y la toxicidad en los suelos; las crecidas; la erosión; y el transporte y depósito de los sedimentos. En el aspecto biológico preocupa el equilibrio de los nutrientes del suelo y del agua que influyen en la flora y fauna acuáticas; y la vinculación entre los depredadores y las enfermedades que afectan a los seres humanos, animales y plantas.

*b) Sistemas regidos por obras de regulación*

En contraposición a las semejanzas que muestran los casos urbanos, los problemas de manejo que plantean los casos no urbanos tienen características más heterogéneas. Uno de los factores más importantes para el manejo del agua y de las tierras es la presencia o ausencia de asentamientos. Al respecto, los proyectos San Lorenzo, La Chontalpa y Caño Máname tienen mucho de común en el sentido de que la tecnología agrícola, la capacidad técnica y motivación de los colonos y el acceso a los insumos y a los mercados determinaron la modalidad de manejo de las tierras y el agua.

El proyecto Guri no se relaciona con asentamientos humanos. Fue concebido como una planta hidroeléctrica destinada a una sola finalidad y la preocupación central del manejo es la relación entre el caudal y el almacenamiento en el embalse y el suministro oportuno de energía a la red nacional. La ordenación de los recursos de tierra y forestales conexos situados aguas arriba no se consideró parte del proyecto, ni hay necesidad de hacerlo si el único interés se asienta en las relaciones entre costos y beneficios a lo largo de una vida útil del proyecto de unos 40 o 50 años. El caso del Aconcagua ilustra una tercera situación, en que los terrenos y el agua ya se están aprovechando en forma intensiva para la agricultura. El desarrollo futuro plantea la posibilidad de que surjan conflictos a lo largo de todo el valle entre los múltiples usos que tiene el agua, como la eliminación de efluentes industriales, mineros y urbanos, el riego, el abastecimiento urbano e industrial y la pesca en la costa.

*c) Los conflictos físicos y las consecuencias económicas y socioculturales*

Los conflictos físicos que plantea el uso del agua no son sin duda las únicas consecuencias ambientales de la acción del manejo de los recursos hídricos. A menudo se ha sostenido que los mayores problemas que afectan la calidad del medio ambiente en América Latina, y también en las demás regiones en desarrollo, no derivan de la relación entre el hombre y su medio físico sino del medio social.<sup>55</sup> Hay que distinguir entre i) las

<sup>55</sup> Véase, Naciones Unidas, "Informe de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre asentamientos humanos", A/Conf.48/14/ Rev.1, Nueva York, 1973, p.3. "En los países en desarrollo la mayoría de los problemas ambientales son ocasionados por el subdesarrollo. Hay millones de personas que siguen viviendo muy por debajo del nivel mínimo necesario para tener una existencia humana digna, privadas de alimentos, vestuario, vivienda y educación, salud y saneamiento adecuados."

manifestaciones físicas o biológicas de los conflictos de usos del agua, con las consiguientes consecuencias económicas, resultantes de la eliminación concentrada de las aguas servidas domésticas e industriales de los grandes centros metropolitanos, y de la alteración del régimen de los caudales antes examinados; y ii) el conjunto de problemas que se centran en las interrelaciones de las alteraciones de los sistemas físicos por cuanto ellas afectan —o son afectadas— por el comportamiento y los valores del sistema socio-cultural. Estos últimos pueden afectar la estética, repercutir en el estado de nutrición, la salud, la seguridad respecto a los peligros físicos, las necesidades de subsistencia, las necesidades básicas o la situación económica, la equidad y en las cuestiones relacionadas con las distintas opciones individuales y con la movilidad social como funciones del control y de la situación económica.

Si bien de una u otra manera todos los casos reflejan estas preocupaciones no hay pruebas claras de una relación de causa a efecto ni del grado en que ellas se vinculan a las cuestiones ambientales o no ambientales del manejo de los recursos.

La experiencia enseña que sólo se puede prestar seria atención a las causas y consecuencias socioculturales una vez que se ha esbozado de manera más clara el tipo de soluciones que puede darse a los conflictos físicos del uso del agua.

d) *Cuestiones ambientales y no ambientales relacionadas con el manejo de los recursos hídricos*

Al analizar la experiencia recogida en los estudios de casos es importante distinguir claramente entre los problemas ambientales y los no ambientales que confronta el manejo.

Los problemas ambientales son los que emanan de una modificación no planificada del estado de los recursos naturales que se produce como consecuencia de una decisión sobre el uso del agua, sea fuera de la jurisdicción del manejo de un sistema determinado (problema externo) o dentro de ella (problema interno) y que puede influir en el bienestar de los usuarios actuales o futuros de los servicios que proporcionan tales sistemas naturales. En esencia, los problemas ambientales externos no se relacionan con los objetivos inmediatos del manejo de un sistema hídrico específico: por ejemplo, en Caño Mánamo, el cierre total del afluente tuvo efectos ambientales aguas abajo —la penetración de la salinidad— que no guardaban relación alguna con la producción agrícola en la zona de rehabilitación de tierras del delta. De esta manera, la decisión de modificar la represa fue motivada por un problema ambiental externo. En cambio, en el mismo proyecto, la acidificación y la sumersión de los suelos fueron problemas ambientales internos y en este caso, la decisión de la CVG de introducir nuevas estructuras (nuevos drenes y polders) se debió a la necesidad de preservar la productividad interna del proyecto. Lo mismo se aplica a la salinización en el valle del Piura inferior y en el propio proyecto San

Lorenzo. La decisión de cerrar la cuenca superior del Caroní a las actividades forestales y agrícolas también puede interpretarse como una reacción a una preocupación ambiental externa, ya que todo indica que el proyecto del Guri habría sido económicamente viable aunque no se hubiese adoptado esta decisión.

En el caso de los sistemas regidos por complejos urbanos los problemas ambientales internos y externos no planificados derivan principalmente del uso y manejo del agua que han dado lugar a niveles no previstos de contaminación del agua, que afectan la salud, la estética y el esparcimiento.

Los problemas no ambientales atañen exclusivamente al funcionamiento interno del sistema administrado. De tal modo que las decisiones que los afectan responden a la misma motivación que las que se adoptan en relación con los problemas ambientales internos, es decir, el deseo de proteger la productividad del sistema. Así, en el proyecto La Chontalpa, la renuencia de los campesinos a su reubicación, la organización ejidal, la motivación o la disponibilidad de créditos fueron problemas no ambientales relacionados con el manejo del suelo y del agua. Para la Comisión Grijalva su preocupación por estos problemas era tan grande como por el problema interno de las crecidas, porque todos ellos influían en la productividad del proyecto. En el caso del San Lorenzo, la imposibilidad de controlar el uso del agua suministrada para el proyecto pero no utilizada en éste en las etapas iniciales fue una cuestión no ambiental de manejo que trajo consigo problemas ambientales, tanto externos como internos.

## *2. Problemas relacionados con el manejo de los recursos hídricos*

La clasificación precedente sirve de fundamento para interpretar los principales problemas del manejo de los recursos hídricos y la forma en que influyen en la preocupación por el medio ambiente, que se advierte en cada uno de los casos estudiados.

### *a) La situación urbana*

No es de sorprender que el conflicto físico más evidente que ilustran los cuatro casos de complejos urbanos es el uso creciente de los recursos hídricos para eliminar desechos. Debido al deterioro de la calidad del agua por esta causa, en Bogotá se puso en peligro el uso del curso inferior del río para esparcimiento y suministro de agua; en Santiago, el afectado fue el riego; en São Paulo, también el suministro de agua y el esparcimiento y, en Río de Janeiro, la recreación. En cada estudio se muestra que existen conflictos cuya gravedad va en aumento. Fundamentalmente, éstos se relacionan con la contaminación biológica, la que puede controlarse mediante el tratamiento de los desechos. Otros problemas, como por ejemplo, la eliminación masiva de desechos, la eutroficación y la contaminación por

metales pesados o por hidrocarburos, cuya existencia en otros lugares es bien conocida, no se reflejan en los estudios de casos. Sin embargo esto no se debe a la inexistencia de dichos problemas sino a la falta de información sobre ellos. Se sospecha, por ejemplo, que en los lugares más aislados de la Bahía de Guanabara habría eutroficación si disminuyera la contaminación biológica.

La característica principal del conflicto que se produce entre la eliminación de las aguas servidas y otros usos del agua es la limitación espacial de sus efectos. El desarrollo urbano de América Latina es de tal naturaleza que los grandes centros metropolitanos son sociedades aisladas, autosuficientes y, en gran medida, separados de las regiones que las rodean.<sup>56</sup> Para los recursos hídricos y su administración, esto significa que los efectos nocivos, o los costos externos del conflicto, recaen casi íntegramente en la zona metropolitana inmediata y, en cambio, los efectos aguas abajo normalmente son de escasa importancia. Las enfermedades de tipo gastrointestinal en Santiago constituyen quizá un ejemplo clásico, pero aquí los efectos realimentadores son casi siempre instantáneos. Por ejemplo, Buenos Aires pese a que se encuentra aguas arriba de Montevideo parece no contaminar las playas de esta última. Tales playas son contaminadas por los desechos del propio Montevideo y lo mismo sucede con las playas bonaerenses.

El conflicto entre las zonas situadas aguas arriba y las que se encuentran aguas abajo, que tradicionalmente es el problema central del manejo de los recursos hídricos, prácticamente no se da en los sistemas urbanos. Como fenómeno general, el choque entre los intereses de unas y otras aún no se ha presentado, si bien en los casos estudiados se manifiestan señales incipientes de él; por ejemplo, el riego en la parte inferior del valle del Maipo y en el valle del Mapocho, peligra por el incremento de la demanda de agua en la zona metropolitana de Santiago. En el caso de Bogotá, la demanda de oxígeno de los desechos bogotanos no se hace sentir actualmente en el valle del río Magdalena, aunque se reconoce que no hay información respecto de la contaminación por metales pesados y otras materias potencialmente tóxicas.<sup>57</sup> Incluso el sistema de uso del agua de São Paulo, pese a su magnitud, es en gran parte cerrado en la actualidad. Las descargas de desecho contaminan los ríos y canales de la zona urbanizada, el embalse

<sup>56</sup> Sólo en el sudeste del Brasil existe una región urbanizada de la magnitud de las europeas o norteamericanas. (Véase, por ejemplo el análisis de P.O. Pedersen, *Urban-Regional Development in South America*, Instituto de Investigaciones de las Naciones Unidas para el Desarrollo Social (UNRISD) Mouton, La Haya, 1975, especialmente el capítulo 5, y también el de Rubén D. Utría, *Hacia un enfoque más integrado de los problemas y las políticas de desarrollo regional en América Latina*, Siglo XXI, México, 1974, pp. 301-320.)

<sup>57</sup> Sobre esta clase de contaminación hay poca vigilancia en toda América Latina, a excepción de la relacionada con el control de la calidad del agua de suministro público. Este hecho refleja que dicha vigilancia ha sido innecesaria en el pasado y que en muchos lugares, todavía sigue siéndolo.

Billings y el valle Cubatao adyacente y afectan a Santos, pero ésta puede considerarse parte integrante de la metrópoli ampliada.

Sin embargo, las zonas metropolitanas reflejan algunos de los conflictos que se producen aguas abajo. En el caso de São Paulo, si se resolviera dejar que las aguas del Tiete se deslizaran normalmente en vez de llevarlas a través de bombas al embalse Billings las consecuencias se proyectarían fuera de la región metropolitana. La contaminación afecta los asentamientos situados aguas abajo de Bogotá, y Santiago se disputa el agua con el riego que se aplica en los cursos superior e inferior del Mapocho. A pesar de esto, debido a la modalidad de distribución de la actividad económica y de la población en los sistemas regados por grandes complejos urbanos, los diversos conflictos tienden todavía a ser "locales".

No se pretende con esto sugerir que en estos sistemas la relación entre el uso del agua y el medio ambiente se limite exclusivamente a la contaminación y al deterioro de la calidad del agua. Por ejemplo, los conflictos que se plantean en Santiago no se restringen a la pugna por el agua de riego ni a las consecuencias de la utilización de agua insalubre para el regadío de la producción frutícola y hortícola; también hay pugna por los terrenos regados. Del mismo modo, Bogotá presenta un conflicto entre el régimen natural del río, cuyos altos caudales máximos producen inundaciones en la sabana, y la urbanización de estos terrenos. Una vez más, en ambos ejemplos, la mayor parte de las desventajas están dentro de la región metropolitana: la agricultura de riego en torno a Santiago produce para el mercado santiaguino y el problema de las inundaciones de la sabana de Bogotá ocurre dentro de la región metropolitana.

Lo anterior revela que la demanda de agua de las zonas metropolitanas ya no entra en competencia con la demanda de otros usuarios, sino que está monopolizando el recurso; los usuarios no urbanos sólo pueden aprovechar lo que queda después que la ciudad ha satisfecho sus necesidades. Al parecer, hay fundadas razones para extrapolar esta conclusión a otras zonas en desarrollo en que escasea el agua, como la zona del Aconcagua y la del San Lorenzo: es decir, en la medida en que se estimule o permita el crecimiento de las ciudades, desarrollarán un derecho prioritario sobre los recursos tanto hídricos como de tierra.

Son muy pocas las ciudades grandes que no presentan fuertes déficit en el suministro de agua potable a la población, y déficit aún mayores en los sistemas de alcantarillas y de desagüe.<sup>58</sup>

La situación queda claramente de manifiesto en los casos estudiados. Por lo general, está mucho más extendido el suministro de agua potable que la conexión a un sistema de alcantarillas. Aún así, puede estimarse que

<sup>58</sup> En reiteradas oportunidades se ha mencionado específicamente la importancia que reviste el suministro de agua y alcantarillado. Para el caso de América Latina véanse, por ejemplo, las resoluciones que contiene el informe de la Reunión Regional Preparatoria de los Países de América Latina y el Caribe para la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Agua, E/CEPAL/1020, noviembre de 1966, pp. 57 a 62.

un tercio de la población no cuenta con aquel servicio; en el caso del alcantarillado tal situación tiende a invertirse y solamente un tercio cuenta con ese servicio. Como es de suponer, los sectores más pobres de la población son los que carecen de estos servicios y esta carencia forma parte de los síntomas generales de la pobreza. Implícitamente, al menos, existe un conflicto en la asignación de recursos para extender y mejorar las redes de suministro de agua y de alcantarillado y para el tratamiento de las aguas servidas de los sistemas públicos, el control de la eliminación de residuos industriales en cuerpos de agua o para la vigilancia, análisis y control de los efectos de la expansión urbana en el régimen hidrológico.

En el presente trabajo no se examinan los medios de resolver este conflicto ni la asignación óptima de recursos entre dichas actividades. Ningún centro metropolitano, incluidos los analizados, dispone de recursos ilimitados para el manejo del agua. Además, no suele encontrarse un sistema institucional que permita estudiar en forma adecuada el problema de la asignación de los recursos, de modo que aunque el estudio hubiese abarcado tales problemas su planteamiento mismo habría resultado difícil.

Sin embargo, es preciso dar una idea clara de la magnitud probable de la inversión que exigirían el suministro de agua y de alcantarillado y el control de la calidad del agua en América Latina. Si no se cuenta con una estimación de los recursos necesarios para obtener al menos un control mínimo de la relación entre el uso del agua y la calidad del medio ambiente, se hará sentir la falta de un marco de referencia significativo para el resto del análisis. No es posible calcular con precisión los costos futuros totales en esos términos. De acuerdo con los diversos cálculos realizados, la inversión requerida para alcanzar los objetivos de suministro de agua y alcantarillado para 1980 estaría entre los 7 000 y 10 000 millones de dólares.<sup>59</sup>

Es imposible estimar el costo total que representaría preservar la calidad del agua mediante el tratamiento de los desechos domésticos y otros tipos de control. La depuración de las aguas servidas puede tener un costo elevado si se consideran la inversión inicial y los costos de mantenimiento y explotación, pero ofrece muchísimas opciones e incluso las estimaciones actualmente disponibles no permiten formarse una idea clara al respecto.<sup>60</sup> Sin embargo, no cabe suponer que la protección de la calidad de las aguas receptoras de los desechos tenga un costo tan elevado como el

<sup>59</sup> Los objetivos son: en las zonas urbanas, 80% de la población con conexión domiciliar de agua potable y 70% con conexión a un sistema de alcantarillas; en las zonas rurales, 50% con conexión a un sistema de alcantarillas; en las zonas rurales, 50% de la población con una fuente controlada de agua y un sistema sanitario de eliminación de desechos. (Para mayores detalles, consúltese Organización Panamericana de la Salud, *Ten Year Plan for the Americas*, Washington, 1973, p.50.)

<sup>60</sup> Los costos de la depuración varían según el tipo de la misma, el que a su vez depende del grado y tipo de contaminación, de las normas vigentes en cuanto a la calidad del agua, etc.

suministro de agua potable y alcantarillado. En Bogotá, por ejemplo, de la inversión total de casi 1 400 millones de dólares estimada para los sistemas de suministro de agua, desagües y alcantarillado entre los años 1976 y 2000, se necesitará tan sólo el equivalente de 92 millones de dólares para el tratamiento de las aguas servidas.<sup>61</sup> En São Paulo, la inversión para este último fin se calculó en el equivalente de 36 millones de dólares, mientras que la inversión total estimada en el sistema de evacuación de aguas de lluvias y en el sistema sanitario de eliminación de desechos hasta fines de siglo alcanza a 1 200 millones.<sup>62</sup>

La información disponible parecería indicar que en la asignación de recursos no se produciría un conflicto importante entre las inversiones destinadas a mejorar la calidad del medio ambiente y a suministrar servicios de agua. Es más probable que surjan conflictos de prioridad entre las inversiones en estos servicios y otras inversiones análogas en infraestructura social. En los casos estudiados las cifras citadas no justificarían los temores comunes acerca del elevado costo del mejoramiento de la calidad del agua, aunque tales datos no son suficientes para desautorizar el argumento.

La percepción del tipo de problema que presenta la expansión de los centros metropolitanos es de suyo una cuestión fundamental para quienes manejan los recursos hídricos. El mayor uso del agua, que marcha a la par con el desarrollo, y los efectos ambientales consiguientes constituyen sólo un aspecto particular del problema general de las repercusiones que tiene en la efectividad institucional la ampliación de los problemas en la efectividad institucional. El fracaso de la administración urbana suele producir el caos físico y la confusión institucional.<sup>63</sup>

#### b) *Sistemas de regulación de caudales*

Cabe hacer una clara distinción entre el caso de los complejos urbanos y el de regulación de caudales en lo que toca a la dispersión geográfica de los conflictos y a las interrelaciones entre estos conflictos según quienes se benefician o perjudican con un sistema determinado de manejo de los

<sup>61</sup> Saldarriaga y García, *op. cit.*

<sup>62</sup> Companhia de Engenharia Tecnológica e Saneamiento Básico de Estado de São Paulo. São Paulo (CETESB), *Plan Diretor de Esgotos da Grande São Paulo, Solução Integrada*, São Paulo, 1974.

<sup>63</sup> Un estudio reciente del CELADE distingue entre "grandes ciudades" y "ciudades grandes", y pone a que las cuestiones se plantean en función de sus consecuencias físicas siempre hay un elemento de falla institucional y de manejo vinculado a las deficiencias físicas: "Con una carencia casi absoluta de servicios urbanos en gran parte de la superficie que ocupan; con muchos de sus habitantes viviendo en casas inadecuadas y en zonas donde campea la pobreza y no existen servicios de educación sistemática mínima; con una superficie desmesuradamente extensa para su población, lo que acarrea innumerables problemas de todo tipo, las ciudades latinoamericanas son, cada vez más ciudades grandes pero no grandes ciudades", Herrera y Pecht, *op. cit.*, p. 79.

recursos hídricos. A diferencia de lo que ocurre en el caso de los complejos urbanos, en que hay una tendencia a que los efectos sean "internos", los cinco casos de regulación de caudales estudiados revelan los conflictos característicos y variados que se plantean en grandes regiones entre los cursos superior e inferior de un río.

En los casos del San Lorenzo, del Guri y de la presa de Netzahualcóyotl en La Chontalpa, surgen problemas aguas arriba de los proyectos relacionados con la captación de caudales, la erosión y la sedimentación, respectivamente. Los conflictos que se plantean aguas abajo quedan bien ilustrados por la salinización y la pugna por el agua de riego escasa en el San Lorenzo. Asimismo, los casos de La Chontalpa, el Aconcagua y el San Lorenzo revelan un conflicto naciente derivado de la urbanización que acompaña al desarrollo agrícola, conjuntamente con la contaminación y la pugna por obtener tierras agrícolas valiosas.

Es posible que la presión que ejercen las obras de regulación en los sistemas acuáticos no haya alcanzado aún las proporciones de la creada por muchas de las grandes ciudades de la región. Sin embargo, la mayoría de los países están aplicando un programa acelerado de regulación de los ríos con lo que los problemas del manejo a largo plazo pueden incluso superar a los planteados por el crecimiento urbano. Los conflictos que ponen de manifiesto los casos analizados se centran en cómo aumentar o, a lo menos, mantener la productividad de los sistemas artificiales creados — presas de control de crecidas, estaciones de energía hidroeléctrica y la agricultura en las tierras regadas o drenadas. Por ejemplo, las crecientes inversiones en obras que no fueron planificadas inicialmente han sido importantes para el desarrollo de polders en Caño Mánamo y para el establecimiento del complejo sistema de desagüe y riego en La Chontalpa. Al parecer, aumentan fuertemente las inversiones en obras de regulación comparadas con el volumen de agua regulado, como lo ilustran las transferencias entre cuencas en las zonas de riego del San Lorenzo y del Majes en el Perú, y los planes de hacer traslados entre cuencas como los propuestos en el noroeste de México o en las cuencas del Maipo y el Aconcagua en Chile.

Los casos estudiados revelan que en las etapas de planificación y diseño las dimensiones ambientales sólo se consideran de manera parcial. Esto no debe causar extrañeza ya que:

- i) la mayor parte de los organismos encargados de los proyectos de regulación del agua se ocuparon fundamentalmente del diseño de ingeniería y de la construcción y, por lo tanto, no cabe esperar que consideraran ampliamente la dimensión ambiental;
- ii) en el momento de iniciarse los proyectos, no existía gran interés nacional o internacional por el medio ambiente;
- iii) particularmente en América Latina, se ha considerado que los recursos naturales son muy abundantes y, en consecuencia, no se ha hecho gran esfuerzo por analizar la experiencia pasada en relación con el deterioro ambiental y tenerla presente al diseñar proyectos nuevos; y
- iv) habría sido —y continúa siendo— extremadamente difícil definir las

medidas adecuadas de protección ambiental. Aprovechando la experiencia pasada algunas de estas medidas se identifican y se analizan en el capítulo V.

Hace mucho tiempo que se viene reconociendo la situación de "trade-off" que plantea el uso de los recursos, por ejemplo, inversión en proteger la cuenca o pérdida de capacidad del embalse de Anchicaya en Colombia en un plazo de 20 años.<sup>64</sup> Los problemas fundamentales son cómo identificar de antemano tales situaciones, cómo introducir medidas efectivas de protección del medio ambiente o, aunque se reconoce que algunas situaciones son imprevisibles, cómo concebir y cómo manejar un uso más intensivo del agua de manera de poder reaccionar oportunamente ante lo inesperado para limitar el alcance del daño ambiental. Algunas de aquellas situaciones se han hecho más evidentes en los comienzos del proceso de planificación y manejo, como en el caso del Guri en que fue necesario optar entre el uso de la cuenca para la agricultura o la vida útil de la presa. Las dificultades y los costos inherentes a la introducción y mantención de altos niveles de tecnología agrícola en La Chontalpa y Caño Mánamo y las consecuencias sociales y ecológicas inesperadas de estos esfuerzos han recibido considerable atención en México y Venezuela, respectivamente.

En los grandes proyectos de construcción de nuevas presas, como las de Salto Grande (río Uruguay) y Corpus e Itaipú (río Paraná), se está haciendo un esfuerzo importante por detectar posibles consecuencias ambientales y establecer mecanismos que permitan vigilar y reaccionar ante señales de deterioro de la calidad del medio ambiente. Sin embargo, todavía queda por analizar una gama más amplia de opciones para resolver un problema de desarrollo —algunas de las cuales pueden causar menos perjuicios al medio ambiente— en contraposición a centrarse en el proyecto, y prestar atención sólo posteriormente a diversas medidas paliativas.

### 3. La dimensión institucional

El análisis precedente indica que la forma en que se han manejado en el pasado los recursos hídricos es perfectamente comprensible si se atiende al estado del conocimiento y a los intereses de la sociedad en el momento en que se adoptaron las decisiones. Sin embargo, ello no impide afirmar que una de las principales deficiencias que presenta el manejo del agua en ambos casos radique precisamente en que no se haya prestado más atención a los efectos ambientales al adoptar las decisiones. Como lo ilustran los casos estudiados, la forma que toma en particular esta deficiencia institucional varía muchísimo. Por ejemplo, aun en los casos en que el sistema

<sup>64</sup> Véase R.N. Allen, "The Anchicaya Hydroelectric Project in Colombia: design and sedimentation problems", en M.T. Farvar y J.P. Milton (Eds.), *The Careless Technology: Ecology and International Development*, Doubleday and Co., Natural History Press, Garden City, 1972, pp. 318-342.

de manejo contiene formalmente todos los mecanismos administrativos básicos, surge el problema de la coincidencia o falta de coincidencia de los límites jurisdiccionales. Este problema se plantea además de, y aparte de, la falta de institucionalización, pero no siempre resulta fácil separar uno del otro.

En este caso, el elemento decisivo es la política nacional, que fija los límites, asigna la responsabilidad y establece el grado de centralización o descentralización de la autoridad decisora en lo que respecta a la asignación de los fondos y al diseño y ejecución de proyectos hídricos y programas de regulación de caudales. Aunque haya cierto grado de descentralización —como en el caso de las municipalidades que pueden tener la responsabilidad del control de la calidad del agua aunque no necesariamente la facultad ni los recursos técnicos y financieros para la ejecución— las normas y el financiamiento generalmente provienen de organismos del gobierno central, como el Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales Renovables de Venezuela, el SRH de México o el Banco Nacional de Habitación del Brasil.

Durante algunos decenios, los decisores y los teóricos en América Latina han prestado mucha atención al problema de descentralizar la actividad económica, la población y la autoridad decisora, como instrumento de desarrollo. A menudo se considera que la hoya hidrográfica o la autoridad regional constituyen el vehículo para la descentralización. Los países latinoamericanos han experimentado con diversas formas de entidades de este tipo durante muchos años. La experiencia de la CVG en materia de coordinación del manejo del agua es en cierta medida atípica, en el sentido que no había grandes intereses de parte de otros organismos públicos de la región y prácticamente no había grupos de intereses locales, como en el caso del Guri. Quizá un modelo que viene más al caso sea la Comisión Grijalva, que ciertamente ha tenido que habérselas con grupos de intereses locales y con las instituciones estatales y federales que se ocupan del desarrollo en la región. Si bien en la etapa de construcción de las obras de prevención de crecidas y de la infraestructura en La Chontalpa la Comisión fue muy eficaz, después surgieron dificultades en el manejo de los recursos de tierra y agua, no sólo por las relaciones ecológicas imprevistas sino también y, quizá más importante, por el papel no planificado que desempeñaron las instituciones sociales y políticas. En definitiva, esto último llevó a crear un nuevo organismo para administrar el proyecto, el fideicomiso del Plan La Chontalpa.

Finalmente, aun con una nueva percepción del problema del manejo y concordando en la descentralización y ajustando los límites institucionales a los límites físicos, subsiste el problema de qué debe hacerse.

¿Puede aplicarse la experiencia de otras sociedades en la misma forma o con escasas modificaciones?, o bien ¿debería adoptarse un criterio claramente latinoamericano frente a determinadas variantes del problema más general de cómo introducir consideraciones ambientales en el manejo de los recursos hídricos?

Las respuestas de las instituciones de manejo ante las pruebas de degradación ambiental interna o externa en los casos estudiados evidencian gran variabilidad, pero abarcan gran parte del espectro que probablemente ha de encontrarse en la región. Cabe señalar que en ninguno de los casos ha habido una falta total de reacción. En todos ellos la administración ha adoptado una decisión positiva, lo cual no significa que la variedad de decisiones haya sido suficiente o apropiada. En realidad, hasta ahora ninguna de las reacciones ha llegado a resolver por completo los problemas de manejo y en general tampoco puede decirse que constituyan un esfuerzo sistemático por proteger la calidad del medio ambiente.

A grandes rasgos las respuestas pueden caracterizarse por:

i) los cambios introducidos en el sistema de manejo para permitir un mejor conocimiento de los tipos de problemas, por ejemplo, la adaptación de los límites institucionales al sistema físico modificado que será administrado;

ii) la iniciación de investigaciones sobre el tipo de consecuencias físicas que producen las obras de regulación o la expansión urbana en el ecosistema acuático.

En los casos del Guri, Caño Mánamo, San Lorenzo y La Chontalpa los organismos encargados de los proyectos iniciaron una investigación acelerada para responder a la degradación de los recursos naturales. En los últimos tres casos esto se tradujo en nuevas obras de ingeniería de gran envergadura para lograr un mayor control de los recursos hídricos y en modificaciones en los programas de producción agrícola a fin de proteger los proyectos de los efectos ambientales internos adversos.

En el proyecto Guri, la CVG realizó o encargó la realización de una serie de estudios relacionados con la limnología del embalse y con la ecología de la cuenca del Caroní. Los primeros, con miras a explotar una economía externa percibida --la pesca comercial-- y, los segundos, para analizar las consecuencias del asentamiento espontáneo. Los estudios ecológicos dieron lugar a una creciente inquietud acerca de los riesgos que podría implicar el desarrollo agrícola del Caroní, que llevó a las autoridades a prohibir en la cuenca de captación los aserraderos, los asentamientos y la rehabilitación de tierras. En este caso, la decisión obedeció más a la preocupación por las consecuencias ambientales externas que por el cumplimiento del proyecto.

En Caño Mánamo, la CVG estableció una estación agrícola experimental que emprendió amplias investigaciones sobre los problemas del suelo y la adaptación de plantas y animales a las condiciones prevalecientes antes y después del avenamiento. También se ocupó de vigilar los rendimientos y las prácticas de manejo y llevó a cabo programas de capacitación para los futuros colonizadores del delta del Orinoco. Las autoridades de manejo respondieron rápidamente a esta vigilancia. Al comienzo, la presa se destinó a reducir de 300 a 60 m<sup>3</sup> por segundo el caudal medio del afluente. Al cabo de un año, se modificó la regulación a fin de permitir un caudal de 185 m<sup>3</sup> por segundo durante la temporada lluviosa y de 210 m<sup>3</sup> por

segundo durante la temporada seca, en un esfuerzo por controlar el nivel freático (aspecto interno del proyecto) y la salinización del río (aspecto externo del proyecto). Además, se construyeron canales de avenamiento terciario y se adoptó el sistema de polders para controlar mejor el nivel de agua necesario y alcanzar altos niveles de producción.

En el San Lorenzo, a raíz de la información proporcionada por los estudios e investigaciones rutinarios, se puso en marcha una sucesión de obras de ingeniería para avenamiento, ampliación del riego, explotación de las aguas subterráneas, mayor almacenamiento de agua y transferencias entre cuencas. En La Chontalpa, por su parte, la administración reaccionó ante las pruebas de baja productividad agrícola, construyendo sistemas de drenaje y riego más complejos. Sin embargo, surgieron graves dificultades de índole social, económica (de comercialización) e institucional que obligaron a introducir modificaciones no planificadas, y se hicieron esfuerzos infructuosos por ajustar el sistema institucional de manejo de las tierras y del agua para lograr mayor coordinación entre las instituciones públicas y los ejidos.

De los cuatro centros metropolitanos examinados, no hay duda que Río de Janeiro dio la respuesta más completa, si se la considera desde el punto de vista del conocimiento de la relación que existe entre el crecimiento urbano e industrial y los recursos hídricos y de las medidas que se adoptaron. La jurisdicción administrativa se ha ajustado para que refleje la nueva concepción del sistema físico con arreglo a la cual la FEEMA centraliza todas las actividades relacionadas con la reglamentación y vigilancia de la calidad del medio ambiente en el estado que forma parte de Río de Janeiro. En este caso, la investigación del problema se basó en la elaboración de modelos de calidad del agua.<sup>65</sup>

Desde el punto de vista técnico se ha hecho hincapié en la necesidad de conocer la relación que existe entre la descarga de desechos y la calidad del agua en el cuerpo de agua receptor. Los modelos permiten simular las distintas respuestas de la Bahía de Guanabara a medida que varían las modalidades y niveles de eliminación de residuos. También se puede calcular la relación entre la eliminación de desechos y el establecimiento de normas de calidad del agua y esta relación expresada en términos económicos y financieros se traducirá en las distintas inversiones que se requieren para mantener las normas.

En São Paulo se ha modificado el sistema institucional a través de la creación de la CETESB, que tiene atribuciones similares a las de la FEEMA. Sin embargo, aún no se investiga a fondo la relación entre la eliminación de residuos y la calidad del agua, ni se ha centrado en ella el

<sup>65</sup> Esto no significa que una respuesta adecuada deba siempre incluir modelos de calidad o cantidad de agua. No obstante, esta clase de modelos exige una vigilancia minuciosa del sistema físico. En Río de Janeiro, la FEEMA está ampliando las actividades de construcción de modelos para que abarquen los aspectos económicos de la relación entre el uso del agua y su calidad.

conocimiento técnico de los problemas de manejo planteados. Con todo, ya se ha comenzado a recopilar la información necesaria y se conoce la respuesta de parte de las aguas receptoras a los cambios que experimenta la eliminación de desechos en especial en el embalse Billings.

En Bogotá la respuesta ha sido más limitada, pese a que se han emprendido estudios para establecer el origen del problema físico y sus posibles soluciones. El sistema de manejo es fragmentario y hay falta de coincidencia entre los límites institucionales y físicos, ya que la CAR sólo tiene atribuciones sobre los tramos superior y medio de la cuenca del río Bogotá, y no se ocupa del área sanitaria de la ciudad de Bogotá. En el plano nacional, los ajustes legislativos se han incorporado al Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y Protección al Medio Ambiente, recién promulgado, pero aún no se han dictado los reglamentos pertinentes.

En las cuencas de los ríos Maipo y Aconcagua no existe el problema de los límites jurisdiccionales institucionales y físicos ya que éstos coinciden, pero de hecho el sistema no funciona de acuerdo con la situación *de jure*. La Dirección General de Aguas del Ministerio de Obras Públicas, que tiene a su cargo el manejo de los recursos hídricos, ha tenido dificultad en coordinar o controlar las actividades de los principales usuarios, algunos de los cuales son instituciones públicas. Su relación con el sector privado no ha sido mucho más fructuosa, y aparte de la que ejerce en los usuarios directos del agua, su influencia ha sido limitada. Su respuesta ante la aparente degradación ambiental ha consistido en unos pocos estudios del problema de la calidad del agua. Al parecer, en ninguno de los dos valles se ha reunido sistemáticamente la información necesaria para hacer un estudio completo de las repercusiones del crecimiento urbano o del incremento del uso del agua en los recursos hídricos.

#### 4. Observaciones finales

El elemento común a los dos tipos de casos de manejo analizados es el conflicto real o potencial que puede presentar el uso del agua. Salvo algunas excepciones importantes, la respuesta de los sistemas de manejo a los conflictos físicos planteados ha sido débil. A lo sumo se ha iniciado el ajuste de los sistemas institucionales y de manejo a fin de que consideren el hecho que las regiones metropolitanas se están convirtiendo en el principal usuario del agua, y las consecuencias que esto tiene para la calidad ambiental. Es evidente que en términos físicos las externalidades son internas para las regiones metropolitanas, pese a que en la mayoría de los casos sólo se han tenido parcialmente en cuenta en la adopción de decisiones. Los cuatro estudios de casos revelan que recae sobre una sola unidad económica la mayor parte de los beneficios y costos o de las consecuencias de las decisiones del manejo de los recursos hídricos urbanos.

Del mismo modo, si bien en muchos sectores se reconoce ampliamente la degradación real o potencial del medio ambiente físico que produce la

intervención en gran escala en los sistemas hidrológicos con fines de desarrollo agrícola o energético, la reacción del manejo y de los usuarios del agua ha sido fragmentaria. En los casos de regulación de los caudales, las amplias repercusiones que ésta tiene tanto aguas arriba como aguas abajo de las obras, incluidas las consecuencias sociales, no siempre eran manifestas o, de serlo, no siempre fueron reconocidas en las etapas iniciales de la planificación y diseño del proyecto.

Sin embargo, estas situaciones físicas no se han reflejado ni en la comprensión de los problemas por parte del manejo ni en su respuesta a estos mismos problemas.

Es evidente la necesidad de adoptar un criterio más amplio. Debería investigarse la forma en que podría consultarse a una serie de instituciones que tienen jurisdicción sobre el uso y ordenación de los recursos naturales acerca de los problemas del manejo del agua, basándose como mínimo en la cuenca. Esto no significa necesariamente que deba crearse una autoridad con jurisdicción sobre la cuenca hidrográfica. Al mismo tiempo, también surge un problema macroeconómico: ¿cuál es el costo real que representan para un país los grandes conglomerados urbanos, cómo se distribuye este costo y cuáles podrían ser las consecuencias de la transferencia de caudales, al parecer ilimitada, entre cuencas? América Latina se está convirtiendo en una sociedad cada vez más dependiente de las represas, y el manejo del agua ya no es un problema específico que puedan tratar aisladamente organismos especializados en abastecimiento de agua, generación de energía hidroeléctrica, riego, prevención de crecidas y avenamiento. Como en el caso de los sistemas regidos por complejos urbanos, la escala e intensidad del uso de los recursos de tierra y agua que entrañan las obras de regulación y sus múltiples objetivos, incluso en la medida limitada que sugieren los casos aquí analizados, han dado lugar a conflictos económicos, sociales, ecológicos (relacionados con la productividad sostenida de los sistemas naturales) e institucionales que constituyen problemas de manejo de gran magnitud.

## Capítulo IV

### RELACIONES ENTRE EL MANEJO DE LOS RECURSOS HIDRICOS Y EL MEDIO AMBIENTE: LOS FACTORES INSTITUCIONALES Y EL MARCO DE DECISION

En este capítulo el análisis se centra en los factores institucionales que condicionan la elección de los objetivos de política, la aplicación de normas para proteger el medio ambiente y la participación en la toma de decisiones. Así, pues, trata fundamentalmente de cómo podría incorporarse la dimensión ambiental al manejo del agua. El capítulo V se ocupará del planteamiento y del análisis de los problemas ambientales en que se apoyan la planificación y el manejo, es decir, se refiere a por qué debe prestarse más atención a la dimensión ambiental.

#### *1. Los objetivos de política*

Las consideraciones ambientales pueden incorporarse al manejo del agua sea a través de la aplicación directa de normas, por ejemplo, sobre zonificación del uso de la tierra o sobre la calidad del agua, o mediante la planificación y evaluación de proyectos. Partiendo de la base de que la planificación servirá en cierta medida para respaldar las leyes y decretos que establecerán las normas y reglamentos pertinentes, el problema de la definición de los objetivos en relación con las áreas de preocupación ambiental que surgen de los casos estudiados se examinará en función de la planificación, los objetivos nacionales e institucionales, y los problemas de desarrollo tanto presentes como futuros que plantea la distribución del ingreso.

#### *a) La planificación*

Para los efectos del presente estudio, se considera que la planificación comprende las siguientes etapas sucesivas:

- i) definición de los problemas;

- ii) especificación de los objetivos, para lo cual hay que cuantificar los elementos inciertos y las preferencias de los decisores;<sup>66</sup>
- iii) especificación y evaluación de las opciones;
- iv) selección de la opción óptima y su incorporación en un programa integral; y
- v) vigilancia y evaluación de los resultados y realimentación al programa de manejo y al diseño de proyectos.

En los cuatro centros metropolitanos y en el caso del Aconcagua, al no existir ningún organismo responsable de la planificación global del uso del agua sólo se pudo cumplir en forma parcial con estas etapas en algunos tramos de los respectivos sistemas. En São Paulo y Río de Janeiro los dos organismos encargados de planificar la investigación y control de la calidad del medio ambiente en las zonas metropolitanas han ido asumiendo gradualmente un papel más importante en el manejo del agua y han logrado grandes avances en el cumplimiento de las etapas i), iii) y v). En los ejemplos de Bogotá y de los valles del Maipo y del Aconcagua la planificación la realizan proyecto por proyecto los organismos usuarios. Este enfoque queda claramente ilustrado por EDELCA en el proyecto del Guri, la división La Chontalpa de la Comisión Grijalva, la autoridad del proyecto en el San Lorenzo y la CVG en Caño Mánamo. En estos casos parecería que se adoptaron expresa o tácitamente las medidas i) a v), pero no se aplicaron rigurosamente. No hay duda que con excepción de los elementos contingentes y de seguridad que corrientemente se incorporan en las especificaciones de las obras de ingeniería, los elementos inciertos no se cuantificaron expresamente. Sin embargo, la etapa v) se lleva a cabo en distintos grados en todos ellos y la información emanada de la vigilancia se ha traducido en modificaciones sustanciales del manejo.

Las experiencias de la FEEMA y la CETESB constituyen medidas limitadas pero positivas tendientes a una planificación integrada. Sin embargo, en los demás casos, pese a la probada flexibilidad de la administración, en especial para introducir modificaciones en las obras de ingeniería, no está claro que haya habido una recopilación sistemática de información para identificar y dilucidar los hechos claves, que redujera la incertidumbre y proporcionara antecedentes para la planificación y el diseño de nuevos proyectos. Además, hay una cuestión fundamental que al parecer no se tuvo en cuenta y que es la de evitar graves consecuencias irreversibles, para lo cual posiblemente resultó inadecuada la realimentación gradual y progresiva de la información para adaptar las decisiones. Por este motivo, habría creciente preocupación entre las personas encargadas del manejo de los recursos respecto de las posibilidades de adoptar medidas correctivas.

<sup>66</sup> Para cuantificar los elementos inciertos hay que especificar la incertidumbre acerca de los resultados de determinadas acciones y asignar a cada uno de ellos una distribución de probabilidades. En la práctica, esto rara vez se ha hecho.

#### *b) Los objetivos nacionales e institucionales*

La planificación nacional del desarrollo y del uso de los recursos hídricos rebasa el alcance del presente trabajo. Sin embargo, cabe preguntarse hasta qué punto los organismos encargados de esta planificación o de formular políticas entregan pautas o criterios claros para la evaluación de las metas a las autoridades regionales o de las cuencas y a otras instituciones de manejo del agua. En los cinco casos de regulación de caudales aquí estudiados pueden discernirse algunas grandes metas nacionales: empleo, equidad (reforma agraria) y mejoramiento del balance de pagos (incremento de las exportaciones), en el caso del San Lorenzo; descentralización regional, establecimiento de la soberanía territorial y consolidación de la población rural en una zona cuya población históricamente ha disminuido, como en Caño Mánamo; reducción de la presión de la población rural sobre la tierra en las regiones montañosas (transmigración), colectivización de los ejidos y aumento de las exportaciones, en La Chontalpa; mayor eficiencia y producción de la agricultura de riego, aumento de las exportaciones y disminución de los precios al consumidor y declinación de las migraciones del campo a la ciudad, en el caso del Aconcagua y gran generación de energía como base para la industrialización del país y para la elaboración de los recursos minerales en la región, en el del Guri. El impulso que se dio a los proyectos del Guri y de Caño Mánamo estaba destinado a prestar apoyo, mediante la generación de energía y la producción de alimentos, respectivamente, a un polo de desarrollo regional. Por su parte, los casos de complejos urbanos reflejan una clara preocupación por el crecimiento a través de un suministro de agua abundante y barato para fines doméstico e industriales. Al perseguirse este objetivo se han impuesto grandes exigencias al sistema hídrico en lo que respecta a la absorción de residuos y al mismo tiempo ha surgido un conjunto marginal de objetivos, relacionados con la calidad del agua.

Los objetivos globales como la distribución del ingreso, el empleo, la producción y la seguridad nacional estipulan dónde deben efectuarse inversiones públicas destinadas a intensificar el uso del agua, y se establecen explícita o implícitamente en el proceso de planificación o en el de elaboración del presupuesto. No obstante, los casos analizados revelan que en el plano de los sistemas hídricos específicos las decisiones sobre el diseño de programas y proyectos, que determinan el grado de interés por los problemas ambientales, las adoptan los organismos usuarios (energía hidroeléctrica, suministro urbano de agua, riego, desagües y alcantarillado de las ciudades, etc.) a falta de un mecanismo de manejo integrado de los recursos hídricos y conexos. Por lo tanto, sus intereses y su capacidad de planificación y de diseño de proyectos parecen haber sido decisivos en la fijación de los objetivos. Ante esta circunstancia, la experiencia de los casos analizados, exceptuados los de Río de Janeiro y São Paulo, indica que los programas de manejo del agua se han fundado en una visión limitada de los

objetivos y procesos según los cuales la regulación y el uso del agua pueden promover o amenazar el desarrollo económico y social. Difícilmente puede esperarse que los distintos usuarios del agua adopten un punto de vista integral. El abastecimiento urbano de agua, la eliminación de las aguas servidas domésticas e industriales, la producción agrícola y la generación de energía se han considerado argumentos primordiales. Hay indicaciones de que los objetivos de los organismos suelen verse dominados por lo que podría denominarse un "síndrome de construcción" en que, pese a que se proclama una variedad de objetivos, la fuerza que los impulsa es la construcción de grandes obras de ingeniería. No siempre se distingue claramente entre los medios (estructuras de regulación o plantas de tratamiento de aguas servidas), los objetivos intermedios (producción de alimentos o electricidad y normas sobre la calidad del medio ambiente) y los objetivos finales en la forma de beneficios y costos para la sociedad y su distribución.

Si bien puede que haya acuerdo en que en definitiva el objetivo de la intervención en los sistemas hídricos es promover el bienestar social, este objetivo suele verse oscurecido por la estructura institucional. Por ejemplo, una empresa urbana de suministro de agua conoce muy claramente a su clientela y lo más probable es que no se preocupe mucho de los demás que puedan beneficiarse o perjudicarse en el proceso de prestación de ese servicio. Además, en la ejecución de los programas surgen problemas imprevistos y existe la tendencia a que los organismos responsables se ocupen más de los medios y a que en, en general, asuma mayor importancia el cumplimiento a corto plazo.

En las cuencas del Maipo y del Bogotá se ha puesto énfasis en el suministro urbano de agua lo que podría llegar a perjudicar a otros usuarios no urbanos importantes (el riego y la energía hidroeléctrica). En cambio, la experiencia recogida en el valle del Aconcagua indica que las decisiones han estado orientadas a mejorar el suministro de agua de riego y que se ha prestado poca atención a la posibilidad de que haya demanda de agua por parte de otros usuarios del valle (suministro urbano e industrial y eliminación de residuos de fuentes urbanas, industriales y mineras) o al mejoramiento de la eficiencia del riego. Los tres proyectos de habilitación de tierras (La Chontalpa, Caño Mánamo y San Lorenzo) en que se incurrió en elevados costos unitarios y se comprobó la necesidad de obtener utilidades económicas satisfactorias ilustran adecuadamente el énfasis en la producción agrícola a corto plazo. Por ejemplo, en La Chontalpa no se escatimaron esfuerzos por introducir la tecnología más avanzada en materia agrícola y de desbrozo de terrenos a fin de que el proyecto comenzara a producir rápidamente y alcanzar un rendimiento elevado que justificara las inversiones superiores a 15 000 dólares por familia que se habían efectuado.

El análisis precedente no debe interpretarse en el sentido de que los objetivos de producción a corto plazo carecen de importancia o de que los organismos de manejo de los recursos no tienen conciencia de los efectos que pueden resultar a largo plazo. Por ejemplo, la SRH en México, la

FEEMA en el Brasil y la CVG en Venezuela, han patrocinado amplias investigaciones sobre los aspectos físicos y sociales de la intensificación del uso del agua y de la tierra. Los conflictos que podrían plantearse eventualmente entre los objetivos de corto y largo plazos no desaparecerán con una mejor planificación; simplemente se harán más explícitos y abordables para la adopción de decisiones.

c) *El problema del desarrollo*

Dentro del marco del crecimiento económico global y del incremento de los niveles de consumo per cápita el problema del desarrollo se centra en quiénes se beneficiarán y cuándo, como asimismo en quiénes deberán sufragar los costos. Gran parte de lo que se ha escrito sobre el medio ambiente desde la Conferencia de Estocolmo ha girado en torno al problema de las consecuencias distributivas internacionales e intranacionales del manejo actual de los recursos naturales y a la necesidad de realizar reformas estructurales para obtener una distribución más equitativa del consumo y mejorar la protección del medio ambiente con el objeto de hacer frente a las necesidades de largo plazo de la humanidad.<sup>67</sup>

i) *La preocupación por el consumo futuro.* Entre los objetivos de política tienen importancia decisiva los que se centran en el problema de la conservación de los recursos y en la corriente de beneficios que habría de esperarse a través del tiempo como consecuencia del manejo de un sistema hídrico y sus recursos conexos. En este caso, los problemas consisten en elegir una tasa de descuento social adecuada, determinar un horizonte temporal razonable para considerar las decisiones del manejo y establecer los criterios para imponer una reglamentación directa del uso de los recursos a los efectos de su conservación.

Estas cuestiones de política pueden ilustrarse por las diversas decisiones que se confrontaron al planificar, diseñar y posteriormente administrar el proyecto del Guri y la cuenca superior del embalse. El proyecto tenía por objeto generar energía hidroeléctrica y en la etapa de diseño no se prestó atención especial a las consecuencias que podría acarrear el desarrollo de la cuenca receptora de la presa. Hay que considerar que esta situación es totalmente lógica pues no había razones para esperar que se modificase el estado de los recursos forestales y de los terrenos situados aguas arriba del proyecto. Aunque se hubiese reconocido esta posibilidad, lo más probable es que la EDELCA, como compañía de electricidad, no se considerase competente para dictar normas sobre desarrollo forestal y agrícola. De esta manera, la apertura espontánea de la cuenca del Caroní a la silvicultura y a la colonización fue algo totalmente imprevisto y constituye una economía externa del proyecto que tiene sus propios costos, beneficios y beneficia-

<sup>67</sup> Véanse "Declaración de Cocoyoc", *op.cit.*, y "Catastrophe or New Society? The Latin American World Model". A.O. Herrera, *et al.*, IDRC-064e, Ottawa, junio de 1976.

rios, así como consecuencias para la vida útil de la planta generadora y de las líneas de transmisión. Aquí surgen dos preguntas:

i) si se hubiese podido predecir esta eventualidad e introducirla en el diseño del proyecto ¿qué programa de manejo se habría indicado? ;

ii) en vista de que el proyecto se terminará y, por lo tanto, puede considerarse que la inversión de 3 000 millones de dólares es un costo amortizado ¿qué programa de manejo habría que adoptar para los recursos de tierra y forestales del tramo superior de la cuenca?

En el caso de adoptarse una decisión *ex ante*, al aplicar a la cuenca diversas opciones de desarrollo agrícola y forestal, el producto más importante es, con mucho, la energía eléctrica. Incluso suponiendo un desarrollo agrícola máximo, la energía constituye más de 98% del valor actual neto de los beneficios totales descontado a razón de 8% anual a lo largo de 50 años. En la hipótesis extrema de que se realice aguas arriba del proyecto una explotación forestal y agrícola acelerada, que se traduciría en una erosión generalizada y en el agotamiento de alrededor de 7 millones de hectáreas a lo largo del período, la producción de energía no se vería afectada hasta el vigésimotercer año, en que su capacidad se reduciría a 70%. En el año trigésimotercero, la capacidad disminuiría aún más, a 40%, y al cumplirse el plazo de 50 años habría que cerrar la planta generadora. En caso que no hubiese explotación agrícola, la capacidad de funcionamiento no se vería afectada durante aproximadamente 300 años. (Véase el gráfico IV-1 (A).)

El programa de manejo de los recursos que se adopte dependerá de:

i) la tasa de descuento y el correspondiente horizonte temporal que se adopten;

ii) Los supuestos sobre la productividad y tecnología agrícolas y la capacidad de la región para competir con otras regiones de Venezuela; y

iii) la importancia que se atribuya al rendimiento sostenido, prescindiendo de los criterios de eficiencia económica.

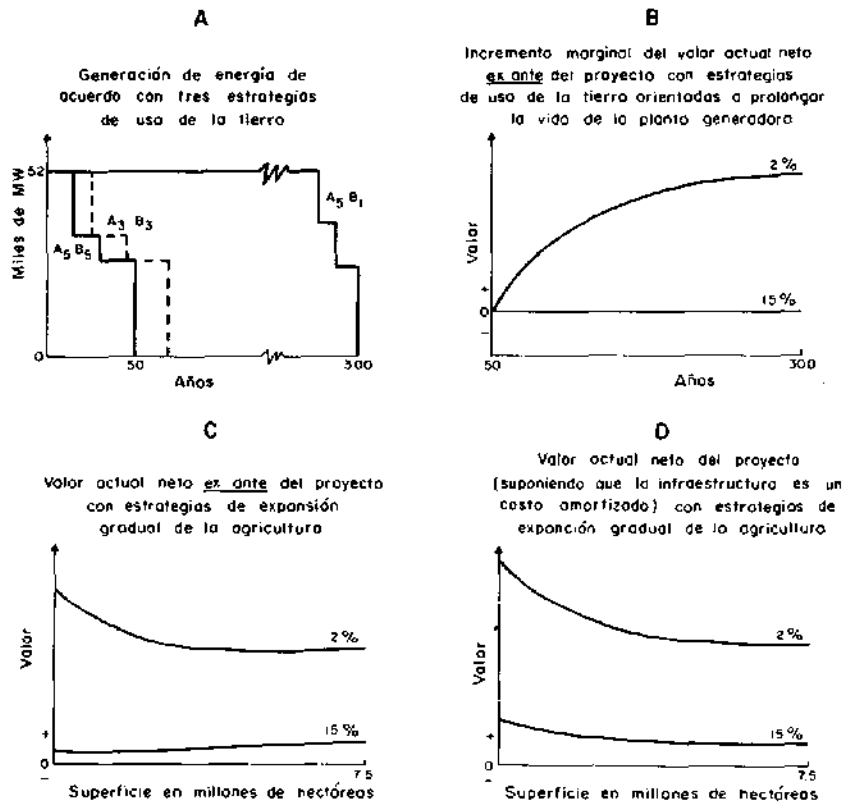
La fijación de la tasa de descuento social neta no depende de que en un proyecto dado haya preocupación especial por conservar los recursos naturales. Se determina en el plano nacional como base para asignar los recursos escasos al uso más eficiente desde el punto de vista social.<sup>68</sup> Sin embargo, sea cual fuere esta tasa, ella puede influir en la apreciación de los resultados del proyecto y en el interés que ellos despierten, por un período bastante prolongado. En el gráfico IV-1 (B y C) aparece el valor actual neto del proyecto, calculado a razón de una tasa de descuento social neto de 20% y 15% anual, según diversas estrategias de manejo de hoyas hidrográficas.

Como se verá, con una tasa de descuento de 15% anual, la sensibilidad a la estrategia aplicada es escasa. Por lo tanto, haciendo caso omiso de la tecnología agrícola y del interés por un rendimiento sostenido podría decirse que, debido a una leve variación del valor actual neto, el hecho de

<sup>68</sup> Véase L. Squire y H.G. Van de Tak, "Economic analysis of projects", Johns Hopkins Press, Baltimore, 1975, p. 76.

Gráfico IV-1

**PROYECTO GURI : GENERACION DE ENERGIA Y RENTABILIDAD ECONOMICA SEGUN DIVERSAS ESTRATEGIAS DE USO DE LA TIERRA EN LA CUENCA SUPERIOR DEL RIO CARONI**



que se explote o no la cuenca en forma acelerada y se pierda totalmente la capacidad generadora pasado el quincuagésimo año carece de importancia. El gráfico IV-1 (B) indica que, con una tasa de descuento de 15% la aplicación de una estrategia que prolongue la vida del proyecto más allá de ese año supone en realidad cierto costo. Cuando la tasa de descuento social neta es de 2% resulta claramente ventajoso adoptar una estrategia de conservación.

Como se verá, los tipos de tecnología agrícola más o menos dañinos para el suelo que podrían desarrollarse y el precio futuro de los productos y de los insumos presentan muchos elementos de incertidumbre. El análisis indica que efectivamente existe el riesgo de que se produzcan efectos irreversibles y de que haya que excluir opciones.

Como base para tomar una decisión podría intentarse asignar distribuciones de probabilidades a estos sucesos o, en su defecto, se podría elevar la tasa de descuento aplicada a los flujos de fondos del componente agrícola, como ajuste subjetivo por concepto de riesgo. De esta manera el valor actual neto de este componente disminuye y puede llegar a ser despreciable.<sup>69</sup> La alternativa, que cae dentro del campo de la reglamentación directa, es postergar las acciones que podrían ocasionar efectos irreversibles con la esperanza de que podrá disponerse de nueva información que permita evaluar mejor la naturaleza de estos efectos y la probabilidad de que ellos se produzcan. Puede iniciarse la investigación de tecnologías que reduzcan apreciablemente la erosión. La adopción de la estrategia de rendimiento sostenido exige, por definición, un horizonte temporal de largo plazo y supone que no hay que aplicar la tasa de descuento social neta al resolver sobre el componente agrícola del proyecto. De esta manera, la conservación se establecería como una restricción y los costos de aplicación de esta política se cargarían al proyecto.

El caso de decisión *ex post* es el que de hecho confronta la CVG al ajustarse a la manifestación de una deseconomía externa. En este ejemplo, el criterio económico es el valor actual neto de los costos marginales, en especial la pérdida de capacidad generadora, y los beneficios relacionados con la introducción de una actividad agrícola en la cuenca superior. El gráfico II-1 (D) muestra la relación entre este valor neto considerando las dos tasas de descuento social netas y la explotación gradual de la cuenca, e indica claramente que, desde el punto de vista económico, la política más racional es la conservación. En realidad, esta fue la política que se puso en práctica en la cuenca del Caroní en 1976.

De lo anterior puede concluirse que en el análisis económico los conceptos de "conservación" y "agotamiento" no tienen, respectivamente, connotaciones de eficiencia o desperdicio: cualquiera de ellos puede presentar la relación costo-beneficio más favorable, ya que la medida de la eficiencia se obtiene descontando los costos privados y sociales netos esperados vinculados a una modificación del uso de los recursos en uno u otro sentido. Si un objetivo atañe al bienestar de las generaciones futuras, al establecer la política de conservación inevitablemente hay que introducir juicios de valor; en otras palabras, no existen métodos rígidos para evaluar los horizontes temporales de largo plazo. Cuando hay que incluir el medio ambiente como variable del manejo del agua, la decisión no puede basarse exclusivamente en el valor neto actual. Si las tasas de descuento social netas son altas, fácilmente pueden ocultarse las consecuencias negativas del perjuicio ambiental a largo plazo.

De esta manera, cuando se aplican métodos de costo-beneficio para respaldar las decisiones prácticamente no queda otra alternativa que introducir restricciones para explicar las variables no cuantificables y la in-

<sup>69</sup> Véase I.M.D. Little y J.A. Mirrlees, "Project appraisal and planning for developing countries", Heinemann, Londres, 1974, p. 326.

certidumbre acerca del comportamiento del sistema cuando los procesos, en especial los procesos ecológicos, tardan largo tiempo en desarrollarse.

ii) *La distribución del ingreso.* La política nacional y el compromiso político de redistribuir la riqueza económica y el poder político establecen el marco general de los objetivos de equidad. Sin embargo, puede sostenerse que quienes se encargan de planificar y manejar el uso del agua no pueden sustraerse a la responsabilidad que les cabe por las consecuencias distributivas que tienen los distintos programas de manejo, y existen sobradas razones para introducir expresamente tales aspectos en los objetivos.

Desde el punto de vista de quiénes se benefician y quiénes se perjudican los casos estudiados ilustran dos categorías de problemas de equidad que emanan, respectivamente, de alguna forma de degradación del ecosistema natural y de la modalidad de manejo del aprovechamiento del agua y de los recursos conexos. En la primera categoría, los problemas se centran en el hecho de que los beneficios de la redistribución no recaen en los grupos a los cuales se desea favorecer cuando tales grupos se seleccionan entre los estratos más pobres de la sociedad. En el caso del proyecto San Lorenzo, la disminución del rendimiento en 4 000 hectáreas y el abandono de otras 4 000 debido a problemas de salinidad, avenamiento y necesidades de agua excesivas, claramente impusieron costos sociales y económicos a los beneficiarios. Como éstos eran campesinos sin tierras que fueron asentados de acuerdo con el programa de reforma agraria, estos costos fueron en desmedro de las metas de distribución del proyecto. Algo similar sucedió en Caño Mánamo, donde todo indica que las ventajas económicas que debían obtener los agricultores relativamente pobres beneficiados por el proyecto no han sido tan grandes como se esperaba, debido a que disminuyó la productividad de suelo al bajar el nivel freático.

Una variación de este tipo de problemas es el característico conflicto que surge entre los usuarios situados aguas arriba y aguas abajo de un proyecto cuando los primeros se benefician a expensas de los segundos. El manejo del agua y de la tierra resultante de las derivaciones y regulaciones sucesivas de los caudales en la cuenca Chira-Piura ha reducido la productividad agrícola en las secciones media e inferior del valle del Piura. En lo que respecta a la equidad, las consecuencias dependen de la situación económica de los afectados. Si los usuarios situados aguas abajo tienen mejor situación que los que se encuentran aguas arriba, lo más probable es que mejore la distribución del ingreso. Podría aducirse que hay maneras más adecuadas de lograr mayor equidad que el diseño de proyectos destinados a reducir la productividad y el ingreso de los usuarios adinerados situados aguas abajo, y no hay duda que el proyecto de San Lorenzo no se concibió teniendo presente esta eventualidad.

En las zonas metropolitanas, debido al limitado alcance espacial de los conflictos físicos, el costo de las deseconomías externas del uso del agua y generalmente recae sobre los sectores más pobres de la población. La baja en la calidad de los recursos hídricos tiende a agravar el problema de la falta de servicios urbanos y, por lo tanto, afecta más a los pobres que a los

ricos. Sin embargo, los aspectos de equidad del conflicto no se plantean como una opción entre asignar recursos al tratamiento de las aguas servidas o ampliar los servicios básicos, sino que se relacionan más bien con el ajuste total del sistema social para permitir una distribución más equitativa de los costos de las deseconomías que acarrear la expansión urbana y el crecimiento industrial. Las playas situadas dentro de la Bahía de Guanabara están contaminadas por las descargas de desechos de Río de Janeiro. Estas playas son frecuentadas por familias de ingresos medianos y bajos, mientras que los habitantes más ricos prefieren Copacabana e Ipanema en la costa del Atlántico. Por lo general, los distritos de la región metropolitana en que habitan los pobres carecen de servicios de agua potable y alcantarillado. Por lo tanto, la asignación de recursos para superar los conflictos físicos que se originan en la relación entre el centro urbano y los recursos hídricos lleva envueltos problemas de equidad.

El desplazamiento de personas que se produce cuando se construyen embalses plantea un problema de costos totalmente diferente, ocasionado por la degradación de los ecosistemas. En zonas tropicales inexploradas tales como la del Guri o en regiones áridas como las inundadas por las presas de Poechos o Puntilla del Viento, prácticamente no hay que preocuparse de los problemas de reasentamiento. No obstante, en algunas zonas húmedas y semihúmedas en que se construyen presas para prevenir las crecidas o producir energía hidroeléctrica, el problema del desplazamiento de la población adquiere proporciones importantes. Por ejemplo, hubo 22 000 personas desplazadas como consecuencia de las 52 000 hectáreas inundadas por la presa Miguel Alemán, en la cuenca del Papaloapán, de México; 150 000 hectáreas inundadas para construir el proyecto hidroeléctrico de Brokopondo, en Suriname, desplazaron a 5 000 personas; 70 000 fueron desplazadas en las 400 000 hectáreas inundadas por la presa Sobradinho, en el noreste del Brasil, y 20 000 a raíz de las 30 000 hectáreas inundadas para el embalse Angostura, en la cuenca superior del Grijalva.<sup>70</sup> A primera vista, parecería que la solución está en el pago de una indemnización adecuada. La experiencia indica que hay dos problemas principales. El primero de ellos es de índole económica y ecológica y consiste en que los campesinos trasladan sus actividades agrícolas desde las planicies inundadas que bordean el río a las tierras altas adyacentes. Esto es lo que ocurrió con muchas de las 3 000 a 4 000 familias desplazadas por la construcción del embalse de Angostura. En este caso, el problema es una deseconomía externa —el peligro de pérdida de los recursos madereros debido a la colonización espontánea así como las posibles consecuencias que podría tener río abajo por el aumento de la escorrentía y la erosión (crecidas y sedimentación). El segundo problema es de índole social y consiste en la inquietud

<sup>70</sup> Véase Dale W. Jenkins, "Impactos ecológicos en las grandes presas", en *Segunda Reunión sobre Aspectos de Desarrollo Ambiental en el Proyecto Salto Grande*, Comisión Técnica Mixta de Salto Grande, Buenos Aires, mayo de 1976.

e incertidumbre que sufren las familias que no están ni preparadas para comenzar de nuevo en un lugar que no conocen ni dispuestas a hacerlo. Más de 3 000 familias masatecas se encontraron en esta situación al comenzarse el llenado de la presa Miguel Alemán, en 1954. La Comisión de Papaloapán se vio obligada a emprender un programa de reasentamiento en gran escala que se prolongó por siete años, y que fue penoso para todos los interesados.<sup>71</sup> También surge el problema del cambio obligado de los medios de subsistencia que puede acompañar al desplazamiento físico. Es posible que la adaptación a actividades nuevas, a menudo dentro de un marco urbano, acarree costos económicos y sociales.

La segunda categoría de problemas de equidad, es decir, los efectos distributivos que emanan de la modalidad de manejo del aprovechamiento del agua, no es de índole ambiental, ya que los efectos en la sociedad no se transmiten a través del sistema natural (véase la Introducción). Sin embargo, en esta oportunidad se mencionan brevemente dos ejemplos para ilustrar la distinción entre los problemas ambientales y los problemas más generales del desarrollo socioeconómico. El proyecto de San Lorenzo se estableció expresamente como parte del programa de reforma agraria. Sin embargo, como la expropiación de las tierras y el asentamiento sólo tuvieron lugar siete años después de terminarse la desviación del Quiroz, los dueños de los predios más grandes obtuvieron elevadas utilidades debido al mayor rendimiento, y entre tanto, ampliaron el riego de sus tierras. Como consecuencia de ello se produjo una fuerte resistencia a la reforma agraria, que entre 1964 y 1969 efectivamente hizo más lento el ritmo del proceso de asentamiento por los campesinos sin tierras, privándolos de los efectos redistributivos. Las ventajas obtenidas por los beneficiarios previstos disminuyeron aún más porque los encargados de administrar el proyecto no fueron capaces de proporcionar el crédito ni la asistencia técnica necesarios para que los colonos pudiesen explotar plenamente sus tierras y hacer frente a los problemas de salinidad y avenamiento a medida que se iban presentando.

En el proyecto de La Chontalpa, uno de los problemas fundamentales ha sido el costo social que supone cambiar la administración individual de una empresa agrícola de tres a cinco hectáreas de cultivos rotativos por un sistema colectivo de elevado coeficiente de tecnología que se administra desde fuera y obliga a vivir en un centro urbano. Este costo social priva al proyecto de los beneficios de triplicar el ingreso per cápita. Se desprende de este análisis que los cambios en la tenencia de la tierra o en sistemas como los de fijación de precios y tributación pueden tener consecuencias ambientales si modifican de tal manera el manejo de los recursos naturales que ocasionan una degradación ambiental que se refleja en una disminución neta de los beneficios o de la satisfacción de las necesidades de la sociedad. Con todo, el costo que entraña el cambio para el individuo o la

<sup>71</sup> Véase J. Ballesteros y otros, *La colonización del Papaloapán*, Editorial Imprenta Casas S.A., Ciudad de México, 1970, p. 31 a 127.

comunidad, en términos materiales o de otra índole, no puede interpretarse como un efecto ambiental.

## 2. Los mecanismos de control

En América Latina no se tiene mucha experiencia en el control directo sobre el uso del agua y de los recursos conexos para los efectos de la protección del medio ambiente. En ninguno de los casos estudiados se aplicaron medidas fiscales como impuestos o el cobro por concepto de descarga de contaminantes para desalentar usos que podrían ocasionar perjuicios ambientales. Se han realizado esfuerzos por restringir la explotación agrícola y forestal pero, en la mayoría de los casos, las restricciones sólo existen en las disposiciones contempladas en la legislación, pero aún no se dictan los reglamentos pertinentes ni se crean los mecanismos de ejecución. La concesión o venta de licencias para el uso de recursos sujeto a restricciones se han aplicado a tierras y bosques.

El control directo del uso del agua y de los recursos conexos confronta una serie de obstáculos en todo el mundo, pero en América Latina parecen particularmente agudos.

i) Cuando se controla el uso de los recursos debe existir alguna norma mensurable que permita al organismo competente determinar el cumplimiento o no cumplimiento de los reglamentos. Para esto se requiere, en primer término, un conocimiento mínimo del funcionamiento del sistema por regular, a fin de establecer las variables que habría que medir. En esencia, el ejercicio del control supone un grado apreciable de certidumbre acerca del resultado, pero la experiencia indica que rara vez existe tal certeza. En segundo lugar, como no existe un mecanismo de fácil acceso para determinar el nivel óptimo de calidad ambiental, la fijación de objetivos en este campo se convierte más que nada en un ejercicio arbitrario e intuitivo para quienes tienen a su cargo el manejo del agua y, debido a la incertidumbre acerca de los objetivos y a la falta de información, es probable que sea aún más arbitrario e intuitivo en los países latinoamericanos que en los de regiones más desarrolladas.

ii) Incluso si se dispusiera de un conjunto adecuadamente especificado de normas sobre la calidad del medio ambiente, cabe dudar que en la región haya muchas instituciones que posean la capacidad financiera, técnica y administrativa para aplicar los controles.

iii) En vista de que la determinación de las restricciones o normas que han de imponerse al uso de los recursos a fin de conservar la calidad del medio ambiente, es un proceso subjetivo y arbitrario; que la protección o degradación ambientales usualmente entrañan un "trade-off" en que la incidencia de los costos y de los beneficios en los diversos sectores de la sociedad variará de acuerdo con la norma seleccionada; y de la reconocida desigualdad en la distribución del poder político que predomina en mu-

chos países de la región, cabe preocuparse quiénes participan en las decisiones destinadas a controlar o no controlar la calidad ambiental.

a) *Normas sobre la calidad del agua*

Hay normas cuantificables y fáciles de comprender aplicables a la calidad del agua.<sup>72</sup> Sin embargo, aun aquí la fijación de requisitos de calidad del agua refleja claramente decisiones políticas. Las normas derivan no sólo de la interacción de asesores técnicos y políticos, sino también de un conjunto de aspiraciones que se reflejan en la disposición a pagar (o a sufrir las consecuencias) de los usuarios directos e indirectos del sistema hídrico. Tradicionalmente, en América Latina, los organismos de manejo del agua no se han preocupado mayormente de los problemas relacionados con la calidad.

Hasta hace poco, en la región, muchas autoridades encargadas de controlar la contaminación del agua pensaban que su función consistía en:

i) evaluar los aspectos físicos del problema y reunir información sobre los parámetros tradicionales;

ii) evaluar los niveles de contaminación a través de una comparación con normas internacionales o nacionales;

iii) identificar las fuentes de contaminación;

iv) establecer normas de calidad del agua; y

v) elaborar un programa de vigilancia para imponer tales normas. Salvo algunas excepciones, los resultados de los programas concebidos de esta manera han sido desalentadores. A menudo, la legislación y los reglamentos adoptados de acuerdo con este procedimiento han sido pasados por alto. Si bien no es fácil identificar todas las causas del fracaso, es evidente que no se han tenido suficientemente en cuenta los costos económicos y que las autoridades no han sabido considerar en forma adecuada los intereses en juego.

Un criterio optativo sería:

i) estimar los perjuicios tangibles (susceptibles de cuantificación en términos físicos o financieros) e intangibles que provoca la contaminación en la salud, el esparcimiento, las pesquerías, etc.;

ii) determinar las características de las fuentes de contaminación;

iii) calcular los costos de las diversas medidas posibles para reducir los perjuicios;

iv) concebir y llevar a cabo programas de control que reduzcan al mínimo la suma de los costos del control y los perjuicios. Todo cambio en la curva de perjuicios debido al uso del agua para fines opuestos modifica la curva mínima de costo del control (véase el anexo A). De esta manera, se hace imposible establecer un nivel general de contaminación que resulte

<sup>72</sup> Véase *"Health hazards of the human environment"*, Organización Mundial de la Salud, Ginebra, 1972, páginas 47 a 71.

aceptable a menos que se realice un estudio independiente de cada caso.<sup>73</sup>

Al intentar establecer normas de calidad del agua, es imprescindible considerar las vinculaciones entre los residuos gaseosos, líquidos y sólidos y entre los medios ambientales receptores - tierra, agua y aire. Cuando no hay sistema de alcantarillas, como sucede en sectores importantes de todos los centros urbanos de América Latina, parte de la contaminación de los desechos sólidos la absorbe la tierra y no el agua, con lo que se perjudica a la población local y no a los usuarios del agua situados río abajo. En ciudades como São Paulo, Santiago o México, donde la contaminación del aire puede convertirse en una importante preocupación social, existe un "trade-off" manifiesto entre la calidad del agua y la del aire según los procesos industriales que se utilicen, los que determinan la cantidad y composición de los residuos que se eliminan en forma de gases o líquidos. Es posible que los costos de las diversas estrategias para cumplir con las normas de calidad en los tres medios ambientales sean diferentes, pero lo que ciertamente ha de variar de una a otra estrategia es la incidencia de sus costos en las descargas y en los afectados por ellas.<sup>74</sup>

Podría sostenerse que el control de la calidad del agua consiste simplemente en estudiar un determinado cuerpo de agua y sus usos, adaptar la tecnología disponible y asignar suficientes recursos técnicos y financieros. Un consultor puede recomendar que una ciudad invierta mil millones de dólares en un sistema de alcantarillas, en canales colectores y tratamiento secundario o terciario centralizado de las aguas servidas, pero no siempre las autoridades de la ciudad acogerán la recomendación dados los beneficios sociales o económicos que podría reportar la aplicación de esa suma a otros fines optativos. Además, al establecer normas de calidad del agua y criterios para alcanzarlas surge el interrogante de si los organismos responsables tendrán la adecuada capacidad técnica y administrativa para hacer funcionar el sistema, y la autoridad necesaria para imponer los controles.

#### b) Otras normas para la protección del medio ambiente

Como ya se señaló, el control de la calidad del medio ambiente debe reunir dos requisitos básicos: disponer de información sobre el sistema que se va a controlar y de capacidad técnica y administrativa para utilizar esta información y formular y hacer cumplir las normas. El primero de ellos se

<sup>73</sup> Véase Walter A. Castagnino, "Polución de agua: modelos y control", Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales, Lima, publicación N° 34, abril de 1977, pp. 18-23.

<sup>74</sup> Para una aplicación de los modelos de residuos a los problemas de la interdependencia entre los medios ambientales véase W.O. Spofford, Jr., C.S. Russel y R.A. Kelly "Environmental Quality Management: An application to the lower Delaware Valley", Resources for the Future, Research Paper R-1, Washington, D.C., 1976, pp. 108-137.

analizará en el capítulo V. Por el momento, puede señalarse que rara vez se han impuesto controles preventivos, más que nada por la falta de información. Si no se conoce de antemano el funcionamiento del ecosistema bajo un régimen hídrico modificado, no pueden establecerse medidas de control. Por ejemplo, dado el estado de los conocimientos sobre los suelos de Caño Mánamo o sobre los aspectos hidrogeológicos de San Lorenzo, antes de su desarrollo, no se habría podido adoptar medidas para impedir la sulfatación o la salinidad de los suelos, respectivamente.

Por otra parte, aunque se conozcan de antemano las relaciones funcionales dentro de un ecosistema y entre éste y las intervenciones con fines de desarrollo, puede suceder que la estructura institucional impida establecer controles.

Para citar un caso ilustrativo, en el valle del Maipo se ha venido reconociendo desde hace más de 30 años que la utilización de las aguas servidas de Santiago para el riego de hortalizas es perjudicial para la salud, en especial de la población de la ciudad. Pese a la elevada calidad del suministro de agua en Santiago, la incidencia de enfermedades transmitidas por el agua, como la hepatitis, casi ha duplicado el promedio nacional. Sin embargo, ha resultado imposible reglamentar la utilización de las tierras y, dada esta situación, el único recurso viable desde el punto de vista institucional es invertir en la instalación de plantas de tratamiento de las aguas servidas, lo que exigiría grandes inversiones en sistemas de alcantarillas, desagües y colectores.

Al considerar la protección ambiental en el manejo del agua, debe tenerse en cuenta que existe evidente relación entre un manejo y un control inadecuados del uso de los recursos y la ulterior degradación del medio ambiente. En la mayoría de los casos estudiados, como no se disponía de información, los controles sólo pudieron aplicarse como medidas correctivas después de haberse manifestado el perjuicio. En la cuenca del Caroní, la CVG estableció una norma de conservación integral y pudo aplicarla de manera cabal. Sin embargo, se consideró que la conservación parcial, de acuerdo con la cual se permitiría una explotación forestal controlada y se prohibiría la agricultura no era un criterio viable. Con todo, ésta parece haber sido más bien la excepción que la regla. La experiencia adquirida en otras regiones de bosques tropicales de América Latina indica que es prácticamente imposible controlar la destrucción de los bosques y la degradación del suelo a través de la colonización de tierras con fines agrícolas o ganaderos. Incluso en las zonas templadas como las tierras altas y las altiplanicies de México, Centroamérica y los Andes, de Venezuela a Bolivia, que son de fácil acceso y tienen una larga trayectoria de asentamientos, no se ha avanzado gran cosa en la aplicación de medidas para controlar la erosión. Pese a que en general se reconocen los problemas, no se han comprometido los recursos financieros y técnicos para establecer y hacer cumplir las normas.

Aparte las medidas de conservación de los recursos hay que considerar el problema de los controles que pueden aplicarse a los componentes socia-

les o institucionales que, de no prestárseles atención pueden tener consecuencias ambientales. Al respecto, el proyecto San Lorenzo ofrece algunas lecciones interesantes. La tardanza en llevar a cabo la reforma agraria y la colonización se tradujo en el aumento espontáneo e incontrolado del riego en todos los sectores de la cuenca del Piura, para aprovechar el agua adicional disponible, y también en la periferia del propio proyecto. Las tierras llanas y la buena calidad de los suelos contribuyeron mucho a facilitar el proceso, ya que permitieron que personas o grupos aumentaran el riego sin tener ni la organización ni el capital necesarios para efectuar grandes movimientos de tierras. La autoridad del proyecto fue, pues, superada por los acontecimientos. Como aumentó demasiado el riego, una posibilidad habría sido reglamentar el uso del agua y retirar los servicios de agua de algunas zonas. Sin embargo, al parecer, la única solución viable desde el punto de vista institucional era una acción que evitara la imposición de controles. Aparentemente, en varios casos, la no imposición de controles al crecimiento de las ciudades, a la eficiencia del riego, o al uso del agua ha dado lugar a la construcción de infraestructuras para la transferencia entre cuencas o para el tratamiento de las aguas servidas.

Otra faceta del problema del manejo de proyectos, en los casos de colonización, que puede tener repercusiones ambientales es la dificultad con que tropiezan los organismos ejecutores para proporcionar apoyo adecuado a la tecnología agrícola considerada más apropiada, por ejemplo, crédito, asistencia técnica y servicios de comercialización. Esto ocurrió tanto en La Chontalpa como en San Lorenzo. En Caño Mánamo resultó difícil imponer a los colonizadores de la región el grado de complejidad que requirió el manejo para impedir la formación de suelos sulfatados. Los últimos ejemplos muestran lo difícil que es distinguir entre la eficiencia en la gestión y en la aplicación del control y de la reglamentación destinados directamente a proteger el medio ambiente. Uno de los problemas fundamentales es el grado de realismo de la planificación y del manejo. Al parecer, los organismos ejecutores han solido proceder partiendo de la base de que tienen un conocimiento casi perfecto y que son capaces de adaptar la estructura institucional a las necesidades del proyecto. La administración ineficiente suele conducir al deterioro ambiental, que no se produciría si el proyecto se ejecutara en la forma planificada.

Las normas ambientales ajenas a la calidad del agua generalmente son aplicables a los recursos relacionados con el agua y se centran en el problema de la conservación.

La conservación integral rara vez satisfará los requisitos del desarrollo; incluso en el caso de la presa del Guri 425 000 hectáreas de bosques serán reemplazadas por un lago. Cuando hay pérdida de bosques, como ocurrió en La Chontalpa y el Guri, podría sostenerse que como norma mínima de uso racional de los recursos debería extraerse a lo menos la madera aserrable. En la práctica estas medidas a menudo no pueden imponerse por las limitaciones del mercado y la indivisibilidad de los proyectos. Debido a las economías de escala, la construcción de presas y de grandes obras de

avenamiento no puede escalonarse en períodos de 20 a 30 años, lo que permitiría la explotación comercial de la madera. Incluso en este caso se plantearía el problema de si los productos de madera podrían competir con los de otras fuentes de abastecimiento ubicados más favorablemente. Puede argüirse que la planificación debería determinar la ubicación del proyecto 30 años antes de su construcción y proporcionar el acceso inmediato a los terrenos con el fin de promover la extracción de la madera, pero esto exige un avance apreciable de la planificación y ejecución, incluso comparados con el que pueda preverse en el futuro próximo. Además, dados los apremiantes problemas de desarrollo y de escasez de capital que prevalecen en la mayoría de los países latinoamericanos, es posible que para este tipo de planificación la pérdida física incurrida sea el mejor resultado neto desde el punto de vista socioeconómico. En este caso, la cuestión está en que la planificación considere esta clase de opciones.

Se estima que a consecuencia del proyecto San Lorenzo, la población de la región aumentó de 2 000 a aproximadamente 40 000 personas. La demanda de combustible de la nueva población ha impuesto considerables exigencias a los recursos de la cuenca de los ríos Chira y Piura. En 1973 la extracción controlada de leña y carbón de leña llegó a 7 000 m<sup>3</sup> y 550 toneladas respectivamente, en tanto que se estima que la extracción adicional no controlada de estos productos llegó a 50 000 m<sup>3</sup> y 600 toneladas. Estas elevadas tasas de extracción impiden lograr el rendimiento sostenido que obtenía la población original. Por otra parte, el permanente agotamiento de la vegetación en las regiones más accesibles y el hecho de que desaparecieran las nuevas áreas regadas como fuente de suministro de pastizales han obligado a los criadores de cabras a trasladar los campos de pastoreo a la cuenca superior. Esta es una región de pendientes más pronunciadas y más lluviosa que la pradera anterior y por lo tanto más susceptible de erosión lo que, aparte de la pérdida de suelos productivos, podría acelerar la sedimentación perjudicando las presas de almacenamiento y los canales de riego.

En un caso como el anterior, la reglamentación ambiental puede establecer niveles máximos de extracción de madera y fijar tasas máximas de apacentamiento en la región. Aquí la alternativa compatible con el desarrollo sería la conservación total. En ambos casos, las autoridades tendrían que ocuparse de proporcionar una nueva fuente de combustible para la región, de reubicar a los criadores de cabras, posiblemente cambiando su ocupación, y de establecer mecanismos de vigilancia y control.

También habrían podido aplicarse normas para impedir el daño ambiental en el caso de las ceibas sumergidas como consecuencia de las obras de derivación del Caño Mánamo. Se estimó que el coeficiente de destrucción de estos árboles era aceptable. Sin embargo, si antes de actuar se hubiesen tenido suficientes conocimientos sobre el sistema, se habría podido tener presente el valor actual neto de la pérdida para los fines de análisis de costos y beneficios, o bien fijar un punto máximo de destrucción de las ceibas como limitación del diseño de proyecto.

No se justifica establecer normas ambientales si no hay forma de hacerlas cumplir; en realidad, el criterio para fijarlas debería ser la posibilidad de su cumplimiento. En los ejemplos anteriores no se ha prestado mucha atención al problema de la vigilancia y la aplicación efectiva de las normas de conservación. Al parecer existen razones económicas que justifican prestar atención a este aspecto. Cuando no se puede vigilar y controlar adecuadamente el uso de los recursos, tal vez haya que diseñar los proyectos con suficientes márgenes de capacidad o con mecanismos que logren este control indirectamente, por ejemplo, a través de los programas de operación de los embalses. Si esto no es viable, cabe poner en duda la conveniencia del proyecto mismo e insistir en alternativas de medidas institucionales que conduzcan al mismo fin utilizando mejor lo existente. Podría ser el caso del embalse Puntilla del Viento en el Valle del Aconcagua.

A la inversa, las medidas pueden ser innecesariamente restrictivas como en el caso de la cuenca del Caroní en que se tuvo que prohibir el aserramiento selectivo, que no ocasionó daños importantes al ecosistema, como único medio de cerrar el acceso a la zona a los habilitadores de tierras y a los colonos.

### *3. La estructura institucional*

En el capítulo II se analizaron los sistemas generales de manejo del agua que predominan en América Latina. En la presente sección se examinarán brevemente algunos factores institucionales que, al parecer, ayudan u obstaculizan la incorporación de las dimensiones ambientales a las decisiones de planificación y manejo.

La experiencia recogida de los casos estudiados aconseja planificar y manejar de manera más unificada el uso de los recursos hídricos, por razones a la vez de eficiencia económica y de calidad ambiental. Ante todo, habría que ampliar la jurisdicción de los organismos de manejo de manera que incluyan el tramo superior de la cuenca colectora y los intereses de los usuarios situados aguas abajo que se ven afectados por las obras de regulación de caudales o por la contaminación del agua; segundo, habría que ampliar el alcance funcional de las actividades más allá de la construcción y operación de las obras de ingeniería de modo que incluyan factores tanto socioeconómicos como relacionados con el ecosistema; y tercero, habría que lograr mayor control del uso del ecosistema a fin de limitar el daño ambiental innecesario. Al parecer, uno de los requisitos para lograr un buen funcionamiento lo constituye una estructura institucional que permita:

- a) coordinar los grupos privados interesados con los organismos públicos pertinentes;
- b) cierto grado de descentralización de la autoridad decisora pública; y
- c) mayor participación en las decisiones de quienes se ven más afectados por el aprovechamiento del agua.

#### a) *La coordinación*

De todos los problemas que surgen al incluir la dimensión ambiental en las decisiones sobre el uso y aprovechamiento del agua, los más complejos y difíciles de resolver parecen ser los que se relacionan con la planificación y manejo de los sistemas integrados más amplios. La estructura orgánica, la jerarquía de mando, la independencia en la toma de decisiones en los diversos planos y las políticas de personal interactúan en la determinación de los objetivos de las instituciones, de su interés por planificar y por diseñar proyectos y de su capacidad para hacerlo, y del grado de integración factible. Por otra parte, la acción de los administradores se ve limitada por una serie de factores que escapan a su dominio o sobre los cuales tienen escaso control. Entre éstos se cuentan, por ejemplo, las prioridades del desarrollo nacional y regional, las asignaciones presupuestarias, las disposiciones sobre tenencia de la tierra y derechos de agua, las políticas fiscales y de precios, la población urbana y el crecimiento industrial y la situación política general. La variación de cualquiera de estos factores puede tener efectos negativos o positivos en el desempeño del manejo.

No se puede avanzar mucho hacia la incorporación de consideraciones ambientales en el manejo si las actividades se planifican proyecto por proyecto, basándose exclusivamente en el personal, presupuesto, equipo y el calendario de actividades de una sola institución. Sin embargo, ésta ha sido la base del manejo del agua en la mayoría de los casos analizados. Tal criterio no deja mucho margen para definir con claridad los objetivos, teniendo en cuenta los aspectos del desarrollo tanto socioeconómico como referidos al ecosistema, ni para establecer las relaciones deseadas con otras actividades vinculadas al desarrollo y uso del mismo cuerpo de agua.

El término "coordinación" no supone la consolidación de las funciones en una sola organización; significa más bien la vinculación de los componentes afines de manera que sus logros colectivos sean mayores que si actuasen por separado. En varios casos, la parcelación del esfuerzo, tanto en la investigación como en la operación, ha constituido un inconveniente grave para superar los problemas ambientales. El manejo de un sistema debe encararse con una visión amplia y por lo tanto entrará en juego una serie de instituciones. Puede resultar favorable el hecho que numerosos organismos públicos y privados estén dedicados a actividades encaminadas a intensificar el uso del agua, o bien a otras actividades que influyan en la calidad o cantidad del agua. En este sentido es importante distinguir entre las instituciones de manejo del agua y las que son usuarias del recurso. En el río Bogotá o en el Aconcagua, por ejemplo, la CAR y la Dirección General de Aguas son organismos de manejo del agua y la EAAB, la EEEB, las municipalidades y las asociaciones de regantes son organismos que la usan. Los distintos organismos tienen conocimientos especializados de manejo e ideas y criterios diversos. Sin embargo, vistas dentro del marco de un sistema hídrico, en especial de una cuenca hidrográfica, las unidades creadas por los diferentes organismos no han llegado a formar un todo

coherente, particularmente en los casos de los ríos Maipo, Aconcagua y Bogotá. A fin de lograr una visión común más amplia del conjunto hay que crear mecanismos de integración que hagan ver los inconvenientes de la acción individual y los beneficios recíprocos de una colaboración más estrecha.

Los organismos encargados de las obras de regulación del agua (hidroeléctricidad, riego, y prevención de crecidas) disfrutan de bastante autonomía. Sus objetivos de producción física son claros y es relativamente fácil establecer la viabilidad económica y financiera de los proyectos. Por estas razones, tienden a permanecer inmunes a las presiones que se ejercen sobre ellos para colocar sus actividades dentro de un marco de decisiones más amplio. Algo similar ocurre con las instituciones urbanas de uso y abastecimiento de agua, alcantarillado y desagüe. Estas instituciones cobran por sus servicios y por lo tanto tienen un alto grado de autonomía financiera. El interés por la integración proviene muchas veces de los ministerios de salud o de los organismos de protección ambiental como la Subsecretaría del Medio Ambiente del Ministerio de Salud Pública en México, que se preocupa fundamentalmente de la contaminación del agua por los desechos industriales y domésticos. Sin embargo, el financiamiento y la autoridad de tales organismos tienden a ser limitados, con las excepciones notables de la FEEMA y la CETESB.

En los nueve casos examinados la organización del manejo del agua presenta una amplia variedad, sin que ningún caso particular sea superior a otro. En un extremo se encuentra el río Aconcagua cuyo manejo está muy dividido de acuerdo con el uso que se da al agua, y la coordinación se realiza en gran medida en torno a problemas específicos, salvo en los años de grave sequía, cuando la Dirección Nacional de Aguas impone cierto grado de integración en el manejo. Pese a que esta institución tiene los medios legales para controlar el uso de los recursos hídricos, no ha contado con el respaldo financiero y técnico necesario para ejercer sus facultades. En el otro extremo está el caso del Guri. La CVG es responsable del desarrollo de una amplia zona geográfica que incluye la cuenca del Caroní y por lo tanto está en situación de alcanzar prácticamente el grado de integración que estime conveniente.

Quizá el ejemplo que mejor ilustre la complejidad que presenta el manejo integrado cuando el uso del sistema hídrico está casi monopolizado por una ciudad, sea el de Río de Janeiro. Además, la Bahía de Guanabara constituye un interesante modelo de integración institucional para la protección del medio ambiente, bajo la autoridad de la Comisión de Control Ambiental. La FEEMA actúa como organismo ejecutivo de la Comisión y opera en colaboración con los organismos estatales encargados del control de ríos y lagos, del alcantarillado y abastecimiento de agua en todo lo relativo a la planificación, la fijación de normas, las licencias para actividades contaminantes y vigilancia de la calidad del agua.

Como se ha señalado reiteradamente, los programas de desarrollo hídrico tienden a basarse en una visión limitada de los objetivos y del sistema

hídrico que debe manejarse, que no considera las posibles consecuencias ambientales. Una vez más, es importante en este sentido distinguir entre las instituciones usuarias del agua que, por definición, tienen objetivos limitados, y las instituciones de manejo que deben tener una concepción más amplia. En algunos casos, contribuyen a la estrechez de miras el aislamiento burocrático respecto de otras actividades que influyen en el uso del agua, y la visión limitada del uso del recurso que tienen los planificadores y los encargados del diseño de proyectos. Un problema que se presenta es que son escasos los organismos responsables de algún aspecto del manejo del agua que reúnan en su personal todos los conocimientos necesarios para adoptar un criterio más amplio. Cuando cada organismo se propone contar con una dotación completa de especialidades se produce automáticamente la duplicación y despilfarro de los escasos recursos profesionales y financieros. Se han dado casos en que las instituciones han procurado soslayar los proyectos hídricos de objetivos múltiples debido a lo difícil que resulta negociar y hacer cumplir acuerdos interinstitucionales. La coordinación entre los programas de riego y los organismos de extensión y reforma agraria, es a veces escasa o nula.

En muchos casos simplemente no existen las corrientes de información, los mecanismos de evaluación y las medidas de coordinación necesarios para el manejo integrado de un sistema hídrico. Aunque la división burocrática de las responsabilidades ha agravado la situación, la causa principal no ha sido la escasez de recursos o el desacuerdo institucional, sino la falta de un criterio unificador basado en una visión comprensiva de la finalidad del manejo de los recursos hídricos, así como de la investigación, la planificación y la acción necesarias para lograrla.

La evolución de un enfoque fragmentario a uno más unificado depende de que se modifiquen las arraigadas actitudes y líneas de acción institucionales, las cuales no se aplican únicamente al manejo de los sistemas hídricos. El quid del asunto está en las condiciones que sería necesario crear para iniciar el avance hacia una mayor integración. Se pueden propiciar la descentralización, los grupos de coordinación o las autoridades de cuencas. No existe una fórmula única. A menos que los organismos pertinentes estén convencidos de la necesidad de adoptar un enfoque integrado y compartan una concepción amplia del sistema, la creación de comités encargados de coordinar sus acciones difícilmente mejorará la situación. Es probable que el grado de convicción dependa del análisis de los problemas. Los resultados del manejo que revelan los estudios de casos indican la necesidad de reunir información de manera más sistemática dentro de un marco elaborado cuidadosamente para identificar los problemas claves. Si se carece de este marco y de la investigación y realimentación a través de una vigilancia y evaluación permanentes, la experiencia seguirá siendo fragmentaria, las acciones no se planificarán de manera que permitan comprender la naturaleza de las relaciones consideradas críticas y la información que se reúna seguirá guardada en los archivos de cada institución de manejo del agua. Si se logra avanzar en este sentido debería resultar más viable

reunir a todas las partes interesadas de modo que tengan participación en las decisiones que se adopten.

b) *La descentralización y la participación de los beneficiarios*

Para servir los intereses del medio ambiente es fundamental que exista un mecanismo a través del cual puedan articularse estos intereses y trasladarse a los centros de decisión. Desde el punto de vista tecnocrático la identificación y análisis de estos intereses corresponde a los organismos de planificación, a las organizaciones de manejo del agua o a los organismos que reúnen a los usuarios del agua. Quedaría aún por resolver cómo podrían movilizarse los intereses que se originan fuera de la burocracia. Como se señaló, la concentración del poder político, el número relativamente elevado de personas cuya participación es escasa o nula y que a menudo son el objetivo de las intervenciones en los sistemas de agua, y la centralización de la autoridad decisora, que caracterizan a muchos países de América Latina indica que habría que prestar expresa atención a los mecanismos de participación. Esto es particularmente cierto debido a la naturaleza altamente subjetiva de la calidad ambiental. Hay quienes sostienen que deben buscarse medios para que los grupos interesados participen de manera más efectiva en el proceso decisor. Un buen ejemplo de iniciativa en este sentido lo constituye el fideicomiso creado para administrar el proyecto La Chontalpa en que estuvieron ampliamente representados los beneficiarios de las obras de avenamiento y de riego. Tanto en los casos urbanos como rurales en que se presentan problemas por el uso del agua, hay buenas razones para dar mayor cabida a la iniciativa local en la planificación y en las decisiones. En los casos rurales, los campesinos del lugar a menudo conocen mejor las particularidades del sistema natural. Además, su participación en las decisiones hace más probable que tiendan a autorregularse los efectos ambientales producidos por el sistema social, o aquéllos que perjudican a un sistema social; y que los ajustes necesarios puedan hacerse más rápidamente.

El problema de la participación de los beneficiarios es extraordinariamente complejo. Si bien en principio hay amplio consenso, se plantea una serie de interrogantes al parecer imponderables: ¿en qué campos de acción debería consultarse a los beneficiarios?, ¿en qué etapa del proceso de decisión?, ¿a quiénes habría que consultar?, ¿cómo se debe tratar a los grupos de presión cuyos intereses son claramente contrapuestos?, ¿qué sucede si los beneficiarios carecen del criterio o de la experiencia para evaluar los cambios propuestos? En los casos de Caño Mánamo, San Lorenzo y La Chontalpa no se creó inicialmente ningún mecanismo efectivo que permitiera a los beneficiarios participar en el proceso de decisiones con lo que se hubiese podido atenuar en parte el deterioro ambiental que se produjo posteriormente. La Chontalpa es el ejemplo más ilustrativo del problema. Quizá habría sido imposible explicar a los residentes de la zona del proyecto el cambio completo que se proponía introducir en el ecosiste-

ma agrícola-forestal y en la organización social de manera que tuvieran una base sólida para sus decisiones y recomendaciones. Sin tener una imagen del futuro ¿cómo habrían podido los beneficiarios evaluar racionalmente las propuestas? La urgencia habitual en la ejecución de proyectos hizo imposible todo intento de contestar tales preguntas y los grupos locales se vieron en la situación de no poder aconsejar acerca de las avanzadas técnicas de desarrollo adoptadas. Esto dio como resultado un sistema social y productivo de escaso interés para los beneficiarios, que no estaban capacitados para manejarlos.

Una cuestión fundamental es la presión de los mismos beneficiarios para organizarse en defensa de sus propios intereses. A su vez, dicha presión dependerá de si consideran que la organización será útil dentro del medio institucional en el cual deberá funcionar. Los casos de regulación del agua estudiados no muestran que los grupos que se habrían beneficiado con la protección ambiental hayan ejercido una presión espontánea. Asimismo, en ninguno de los tres proyectos de rehabilitación de tierras hay indicaciones claras de que se ejerciesen presiones locales para efectuar las inversiones. Por ejemplo, en La Chontalpa, prácticamente toda la iniciativa de organización provino de la Comisión del Grijalva. Los ejidos colectivos se impusieron esencialmente durante los primeros años del proyecto y la unión de ejidos se creó y promovió a fin de que representase a los ejidos en las cuestiones legales en sus tratos con los organismos públicos, y también para proporcionar servicios de comercialización. Por ejemplo, la preocupación de los usuarios por el deterioro de la calidad de la Bahía de Guanabara y sus alrededores le significó a la FEEMA un apreciable respaldo de diversos grupos.

A menudo se recomienda la descentralización como medio de aumentar la participación del sector público en las decisiones y para que las instituciones puedan mantener un contacto más estrecho con sus "clientes". Pese a que la mayoría de los gobiernos adoptan esa política hay razones eminentemente prácticas que pueden explicar la manifiesta y casi universal resistencia a su aplicación. Para poder funcionar, las grandes burocracias gubernamentales deben necesariamente aplicar procedimientos normalizados rígidos, que son incompatibles con cualquier criterio que signifique flexibilidad, adaptación de programas a las necesidades locales y obtención de apoyo local. Estas características son precisamente las que contribuyen según se cree, a un manejo eficiente de la calidad del medio ambiente. Las consideraciones políticas determinan el grado de autonomía que puede otorgarse a los gobiernos locales, a las autoridades de cuencas hidrográficas o regionales y de proyectos de ciertos ministerios del gobierno central, así como la medida en que se pueda delegar autoridad y responsabilidad en los organismos que trabajan en el terreno. Además, la devolución de la iniciativa al plano local no garantiza automáticamente la participación de representantes de todos, y ni siquiera de la mayoría, de los grupos directamente interesados. El proceso dista mucho de ser simple y se complica aún más cuando se trata de definir quién es el beneficiario. Por ejemplo, en

el caso de La Chontalpa se ha preguntado quiénes son los verdaderos beneficiados —los intereses de la construcción, los intereses de la elaboración y la comercialización, o los campesinos.

En el caso del manejo del agua, el concepto de beneficiario debe ampliarse para que incluya no sólo a quienes se favorecen sino también a quienes se perjudican con un programa particular de manejo. En ninguno de los casos analizados; hubo un mecanismo formal mediante el cual pudieran estar representados en la solución del conflicto tanto los beneficiados como los perjudicados. Dadas estas circunstancias, parece haber lugar para poner a prueba la aplicabilidad de la ley del interés público. La nueva ley de protección del medio ambiente, en Colombia, parece dar ocasión para tales actividades. Sin embargo, si no pueden concebirse las condiciones en que podría producirse un conflicto en el uso del agua y de los recursos conexos, resulta difícil lograr que haya preocupación por la degradación ambiental.

En síntesis, la participación pública, los límites jurisdiccionales de los organismos encargados del manejo del agua y, en conexión con ellos, el grado de descentralización, que tiendan a mejorar la conservación del medio ambiente plantean un problema particularmente difícil. Sin embargo, debería ser un tema de preocupación central para los gobiernos. Si bien la experiencia de la *Genossenschaften*, de Alemania, de los organismos regionales franceses o de las autoridades británicas del uso del agua pueden ofrecer algunas pautas, dadas las filosofías políticas, y las estructuras gubernamentales y sociales predominantes en la región, los métodos que se desarrollen deberán ser única y exclusivamente latinoamericanos.<sup>75</sup> A medida que aumenten las exigencias impuestas a los recursos hídricos y se produzcan conflictos, habrá que encontrar maneras de canalizar estas presiones y responder a los distintos grupos de intereses. El desafío consiste en modificar gradualmente las actuales estructuras de decisión centralizada de modo que los diversos valores de las partes interesadas se reflejen en el manejo.

#### 4. Síntesis

La adopción de nuevas pautas para la planificación y manejo de los recursos hídricos dependerá de la organización de las instituciones pertinentes y de su capacidad profesional para encarar las interrelaciones complejas y dinámicas que vinculan los sistemas físico, socioeconómico e institucional. Hasta ahora hay escasas pruebas de que los organismos nacionales de planificación hayan impartido instrucciones terminantes a estas instituciones sobre los problemas ambientales que podrían restringir el diseño de pro-

<sup>75</sup> Véase Pedro Pablo Azpurúa y Arnaldo J. Gabaldón, *Recursos hidráulicos y desarrollo*, Editorial Tecnos, Madrid, pp. 321 a 327.

yectos de regulación de caudales, de programas de calidad del agua o el manejo integrado de sistemas hídricos. Pocos países tienen planes nacionales, e incluso cuando éstos existen, las posiciones desarrollista y conservacionista no están claramente definidas. Habitualmente, las decisiones sobre el aprovechamiento del agua las adoptan por separado los distintos organismos de usuarios.

En el caso de la regulación del agua estos organismos tienen la competencia necesaria para ocuparse de los aspectos técnicos del diseño, la construcción y el funcionamiento. Asimismo, han mostrado tener bastante capacidad para detectar las deficiencias de rendimiento que resultan principalmente de la incertidumbre inicial acerca del comportamiento de los sistemas social y físico, y para idear y aplicar medidas correctivas. Como normalmente no son organismos de regulación, por lo general han optado por evitar los conflictos que se producen en el uso de los recursos o el control de éstos, adoptando gradualmente soluciones de ingeniería. No obstante su evidente capacidad administrativa y técnica, pocas instituciones están preparadas para llevar a cabo una planificación que considere una amplia gama de opciones de manejo, o los problemas relacionados con el consumo actual frente al consumo futuro y con la distribución del ingreso. Si bien los objetivos pueden ser comprensivos, por razones operacionales los organismos tienden a centrarse en los medios. Una de las características comunes de los casos estudiados es que las consecuencias distributivas del aprovechamiento del agua, que a menudo se apartan de los objetivos de equidad, se deben en gran parte a sucesos imprevistos cuya posibilidad no se ha contemplado. Además, la experiencia recogida tanto en los casos urbanos como rurales indica la necesidad de reconsiderar la tesis de que la calidad del medio ambiente es preocupación de los ricos.

Dada la naturaleza de la dimensión ambiental, para incorporarla adecuadamente al manejo hay que reglamentar el uso de los recursos y establecer normas ambientales. Cuando el daño ambiental se refleja en el deterioro de la calidad del agua como consecuencia de la descarga de residuos, es fácil cuantificar las normas. En cambio, las normas aplicables al medio ambiente afectado por la derivación y regulación de las aguas no pueden cuantificarse fácilmente. En cualquiera de los dos casos la vigilancia y el control presentan enormes dificultades. La mayoría de los organismos tienen limitada capacidad financiera, técnica y administrativa. Además, pese a que en muchos países hay leyes que rigen la conservación y agotamiento de los recursos naturales, probablemente pasará algún tiempo antes de que dichas leyes hayan sido lo suficientemente probadas como para ofrecer al administrador de los recursos hídricos un manual de normas que pueda aplicar rutinariamente en el diseño de proyectos y en la operación de los sistemas hídricos. Por otra parte, siempre se corre el riesgo de que se haga mal uso de las normas rígidas. Entretanto, la adopción de medidas de conservación que entrañan zonificación del uso de la tierra y restricciones al uso del agua o de los recursos conexos debe hacerse principalmente estudiando caso por caso.

Suponiendo que se disponga de un análisis, o de un sistema de análisis, de las relaciones que existen entre el manejo del agua y el medio ambiente, que sirviera de apoyo a los decisores, quedaría aún el interrogante de qué estructura institucional solicitaría y utilizaría dicho análisis. Además, existen complejos problemas relacionados con la ampliación de la participación en las decisiones y con la integración de las instituciones para atender sistemas físicos y sociales más amplios. Sin embargo, hay indicios de que en América Latina se han introducido modificaciones institucionales que reflejan preocupación por el deterioro de la calidad del medio ambiente.

## Capítulo V

### RELACIONES ENTRE EL MANEJO DE LOS RECURSOS HIDRICOS Y EL MEDIO AMBIENTE: LOS FACTORES SOCIOECONOMICOS Y BIOFISICOS Y EL MARCO ANALITICO

En el capítulo anterior se examinaron los principales factores institucionales que determinan la modalidad de planificación adoptada, los objetivos expresos o tácitos del manejo del agua, los mecanismos de control aplicados para preservar la calidad del medio ambiente y el grado de coordinación de los organismos y otros grupos de intereses y su participación en el proceso de decisiones. Como se verá, las instituciones también desempeñan un papel decisivo para determinar el grado y tipo de análisis que ha de realizarse y que se utilizará como insumo para formular los objetivos de política, y en las decisiones que adopte el manejo sobre reglamentación, diseño de proyectos y asignación de recursos para el aprovechamiento de los recursos hídricos y conexos y para la protección ambiental. Este papel de las instituciones públicas es particularmente importante en América Latina, ya que para todos los efectos prácticos las actividades de investigación y desarrollo sólo reciben apoyo del erario. Sin embargo, ello no quiere decir que el proceso de decisiones sea inflexible; el análisis puede influir en la estructura institucional y ampliar la gama de opciones que está dispuesto a considerar el decisor más allá de la visión que tenía inicialmente cuando solicitó el análisis. El hecho que se ejerza o no presión en las instituciones para que se ocupen de los problemas del medio ambiente, siempre dependerá de factores políticos. Sin embargo, dentro de las limitaciones políticas establecidas, el analista tiene la oportunidad y la obligación de buscar opciones que no trasgredan estas limitaciones y, que al mismo tiempo, hagan que los políticos y los ejecutivos del sector público tengan mayor conciencia de la dimensión ambiental que va unida al manejo del agua.

En este capítulo se presta atención al tipo de análisis que puede ayudar a los encargados de manejar el agua a comprender mejor las posibles conse-

cuencias ambientales de sus acciones y a tenerlas en cuenta. Ello lleva a centrarse en la especificación de los problemas y de los límites de los sistemas interrelacionados que inciden en su solución, y en los procedimientos para evaluar las consecuencias socioeconómicas y biofísicas de las distintas opciones de manejo.

### 1. *Los límites del sistema*

Como punto de partida para abordar la cuestión del manejo del medio ambiente habría que especificar los límites del sistema hídrico objeto de planificación u operación. Estos límites pueden definirse desde los puntos de vista espacial y funcional.

#### a) *Los límites físicos*

Un sistema de manejo de los recursos puede tener tres clases principales de límites espaciales: el límite biofísico, natural o del ecosistema; los límites jurisdiccionales de las instituciones; y los límites del sistema socioeconómico. Los límites naturales e institucionales de los casos analizados se indicaron mediante gráficos en el capítulo II.

i) *Los límites biofísicos.* La cuenca receptora establece los límites de las corrientes de agua, nutrientes y productos químicos y usualmente tiene un intercambio reducido de elementos biológicos con las cuencas limítrofes. La hoya hidrográfica como límite es importante en el caso de las grandes estructuras de regulación de caudales cuyo funcionamiento se verá afectado por la acción del manejo aguas arriba y a su vez influirá en el uso del agua río abajo. En el embalse del Guri la disminución de la capacidad de almacenamiento debida a la sedimentación y a la variación del régimen de caudales para producir energía se relaciona con el hecho de que el manejo de la cuenca afectó la cubierta vegetal, la escorrentía y la infiltración y ocasionó erosión. También existe la posibilidad que surjan problemas a largo plazo en el funcionamiento del proyecto de San Lorenzo y en todo el sistema de los ríos Chira y Piura debido a la explotación acelerada de la vegetación de la cuenca con el objeto de obtener carbón de leña para atender las necesidades de combustible de la mayor población atraída a la zona por las oportunidades económicas derivadas del aumento y mejoramiento del riego. La zona del proyecto La Chontalpa forma parte de la llanura de aluvión de la cuenca Grijalva-Tonalá protegida por la presa de Netzahualcoyotl y, de esta manera, el manejo que afecte el almacenamiento y el caudal en la cuenca superior tiene importancia decisiva para el proyecto. En los casos del valle del Aconcagua y del proyecto San Lorenzo, la importancia de la cuenca hidrográfica como límite es aún mayor debido a las vinculaciones con los tramos situados río abajo.

Si bien en estos dos casos la cuenca hidrográfica parece ser el límite más apropiado, Caño Mánamo ejemplifica un ecosistema, el delta del Orinoco,

que es más pequeño que una cuenca hidrográfica. El concepto mismo de cuenca hidrográfica está dado por el tamaño. Por lo general en los sistemas muy grandes como los de los ríos La Plata, Amazonas, Orinoco y Grijalva-Usumacinta, las subcuencas como la del Caroní para el Guri o la del Grijalva para La Chontalpa determinan límites apropiados. Sin embargo, al considerar la cuestión de los límites normalmente se parte del ecosistema de la cuenca hidrográfica para llegar a sistemas formados por cuencas múltiples. En siete de los nueve casos analizados hay transferencia de agua entre cuencas. En el Aconcagua, se proyecta una transferencia adicional de agua para el riego a dos valles adyacentes. En Bogotá, la derivación de agua desde otras cuencas para abastecer a la ciudad aumentará el caudal medio del río Bogotá en 500/o. Para satisfacer las necesidades de agua de Santiago sin perjudicar el riego del valle se ha propuesto incrementar el caudal del río Maipo. Río de Janeiro recibe la mayor parte del suministro de agua del vecino río Guandú. Alrededor de 900/o del caudal del río Tiete que transporta todos los desechos de São Paulo se bombea al río Cubatao. La cantidad de agua transferida del Chira a la cuenca del Piura de acuerdo con los proyectos San Lorenzo y Chira-Piura casi triplica el caudal anual del Piura. El proyecto La Chontalpa presenta el caso inverso: la transferencia natural de agua que se producía entre las cuencas del Grijalva y del Tonalá en la época de crecidas se ha reducido gracias a las presas construidas río arriba.

ii) *Los límites institucionales.* La identificación de los límites institucionales es de importancia decisiva para el manejo de los recursos hídricos si se considera que las entidades públicas y privadas son las que fijan los objetivos del manejo y controlan las actividades económicas y sociales. Sin embargo, a menudo es difícil identificar tales límites, debido a que la dirección de la mayor parte de las actividades de regulación del agua se asienta en un conjunto de instituciones jerárquicas cuyas atribuciones se duplican parcialmente, y no siempre es fácil determinar cuáles son los límites más importantes teniendo en cuenta la efectividad y autoridad de las instituciones que influyen más decisivamente en los campos de interés ambiental.

La superposición de límites institucionales en el manejo de la cuenca superior del Maipo parece más bien deberse a que no se ha logrado captar el cambio que ha experimentado el problema del manejo del agua y no a que el sistema institucional sea ineficiente. Esto contrasta con la situación de Bogotá en que la falta de coincidencia entre los límites institucionales y físicos, y en especial la relativa autonomía de la ciudad frente a la CAR, obstaculiza la toma de decisiones. En Río de Janeiro y São Paulo, la mayor coincidencia de los límites institucionales y físicos unida al mejor conocimiento de la naturaleza del problema han contribuido a que se analicen más detenidamente los aspectos ambientales del uso del agua. En el Brasil, uno de los pasos fundamentales en este proceso fue la elaboración del Plano Nacional de Saneamiento (PLANASA), que ha conducido a una revisión completa del sistema administrativo de abastecimiento de agua y

alcantarillado y a la concentración de los recursos financieros y humanos.<sup>76</sup>

Al considerar los límites institucionales, es importante distinguir claramente entre el manejo de los sistemas hídricos y la administración de proyectos. Por lo general, ésta última sólo abarcará una parte del sistema hídrico, lo cual explica el enfoque parcial que evidencian muchos de los casos estudiados. Por ejemplo, en San Lorenzo no existía una planificación integrada ni una autoridad administrativa para la cuenca Chira-Piura. Se creó una autoridad semiautónoma para el proyecto dentro del Ministerio de Agricultura, que tenía jurisdicción sobre el embalse San Lorenzo, el canal de derivación y la zona regada de 45 000 ha. Por lo tanto, había una administración para el proyecto pero no existía manejo para el agua.

El proyecto La Chontalpa puede considerarse un subsistema de un sistema hídrico más amplio, ambos bajo la administración de la Comisión del Grijalva. En la etapa de construcción, el proyecto fue un ejemplo de sistema jerárquico de instituciones bien definido. De 1961 a 1974 la planificación y desarrollo del proyecto fueron de la exclusiva responsabilidad de la Comisión del Grijalva, que coordinaba las actividades de varios otros organismos nacionales. Además, estaba facultada para administrar las tierras agrícolas de los 22 ejidos situados dentro del distrito de avenamiento. En cambio, la administración de los proyectos del Guri y de Caño Mánamo depende de una sola institución; la CVG, que tiene plenos poderes y responsabilidad sobre la planificación, construcción y operación, y de esta manera integra las funciones de administración de los dos proyectos y de manejo del agua.

El valle del Aconcagua presenta un modelo totalmente diferente en que la gestión está en manos de una serie de instituciones, ninguna de las cuales parece tener predominio, y en que no siempre puede distinguirse claramente entre usuarios y administradores. Pese a que la Dirección General de Aguas está facultada para coordinar el uso y aprovechamiento del agua en la cuenca, de hecho no ejerce estas facultades. Así, dentro de la cuenca hay una serie de organismos públicos y privados que funcionan de manera relativamente independiente: las autoridades municipales utilizan el río para el suministro doméstico de agua y la eliminación de desechos; la gran mayoría de los canales de riego del valle medio e inferior a la vez pertenece y es operada por cuatro asociaciones de usuarios, y las nuevas obras de riego, como la presa de Puntilla del Viento, las construye y administra la Dirección de Riego.

iii) *Los límites socioeconómicos.* Contrariamente a lo que sucede con los límites analizados, los límites geográficos del sistema socioeconómico

<sup>76</sup> Para una descripción de este programa véanse José Roberto de A.P. do Rego Monteiro, *Water Supply at the National Level, a Permanent Solution*, Oficina de Información del Banco Nacional de Habitación, (BNH), Río de Janeiro, 1972, y varias otras publicaciones del BNH, c *Ingeniería Sanitaria*, Vol. XXIX, Nº 1 al 4, julio de 1975 a junio de 1976.

que inciden en un caso particular de manejo de los recursos, como sería una cuenca hidrográfica, a menudo son discontinuos. Por ejemplo, los focos de migración hacia los principales centros metropolitanos pueden estar diseminados por muchas zonas rurales. Asimismo, los mercados y fuentes de materias primas para las industrias de ciudades como São Paulo estarán distribuidos por todo el país y en el exterior. En ambos casos, puede ser necesario incluir estos elementos dispersos en el sistema socio-económico analizado como base para la administración de los recursos. Podría establecerse un paralelo para los casos rurales: por ejemplo, el lugar de procedencia de los colonos en el San Lorenzo, o de la fuerza laboral migratoria que se ocupa para la zafra en La Chontalpa, o los mercados regionales, nacionales e internacionales para los productos forestales provenientes de la cuenca superior del Caroní, o de productos agrícolas básicos del Aconcagua o de Caño Mánamo.

#### *b) Los límites funcionales del sistema*

Dentro de los límites físicos las funciones biológicas, sociales y económicas, que pueden o no tenerse en cuenta para la planificación y manejo, son tan importantes como la dimensión espacial, para especificar los límites de un sistema de manejo de los recursos. En la práctica, la medida en que se incorporen dichos aspectos dependerá del interés y de la capacidad técnica de las instituciones para manejar el comportamiento de los componentes sociales, políticos, económicos y biofísicos dentro de su jurisdicción.

Dada la naturaleza de las instituciones de manejo y de usuarios del agua y la enorme complejidad que se introduciría si se incluyeran expresamente todos estos aspectos en el análisis, no sorprende comprobar que en todos los casos estudiados la administración de los recursos se ha visto obstaculizada sea por la falta de conocimientos sobre algunos aspectos o por su incapacidad para hacer frente a un comportamiento conocido. Los sistemas urbanos son quizá los que presentan el conjunto más complejo de funciones interrelacionadas. En La Chontalpa, a medida que avanzó el proyecto, los componentes institucionales y sociales resultaron decisivos para el manejo. En el Guri, si bien es fácil definir los límites físicos e institucionales, el funcionamiento de los componentes físicos y sociales dentro de estos límites sigue siendo una incógnita. La secuencia de los acontecimientos en el desarrollo del sistema aún no se revela lo suficiente como para formarse una idea del comportamiento de estos componentes que se relacionan con la colonización espontánea, la tecnología agrícola, la erosión, la sedimentación o el régimen de caudales.

#### *c) Las interrelaciones de los límites*

El proyecto San Lorenzo ilustra convenientemente las relaciones entre los distintos límites en la administración de la tierra y del agua. En el

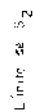
gráfico II-3 se señalaron los límites institucionales y del ecosistema más importantes. En el gráfico V-1 se indican algunas conexiones entre los límites físicos del sistema y ciertos componentes funcionales, biofísicos y sociales.

El proyecto se concibió básicamente para construir obras hidráulicas destinadas al riego, considerando que la colonización y la reforma agraria eran elementos necesarios. Los componentes del sistema, en la forma en que se concibieron originalmente se indican en el gráfico V-1 (S<sub>1</sub>) mientras que los componentes del sistema más amplio que se han ido incorporando gradualmente a medida que se han manifestado los diversos efectos ambientales, se indican en S<sub>2</sub>. La experiencia de quince años muestra que si el proyecto hubiese abarcado S<sub>2</sub> en vez de S<sub>1</sub> podría haberse evitado una serie de consecuencias económicas y sociales gravosas.

El hecho que no tuviese en cuenta la naturaleza del sistema físico (topografía, substratos salinos permeables y substratos impermeables) y su relación con los cultivos y el riego, el manejo del agua dio por resultado la salinización y una baja en la productividad agrícola del proyecto mismo y de otras zonas regadas situadas río abajo, en las secciones media e inferior del valle del Piura. La insuficiente información sobre los aspectos hidrológicos de los sistemas del Chipillico y del Piura, unida al aumento de la demanda de agua como consecuencia del asentamiento y de los métodos de cultivo adoptados, se tradujo en la disminución del caudal del Piura inferior. A raíz de la escasez de agua no se incorporaron a la producción 8 500 hectáreas dotadas de infraestructura de riego.

El conocimiento inadecuado del comportamiento social repercutió en la administración del riego, en la explotación del ecosistema río arriba y en las decisiones de ampliar el asentamiento más allá de los límites del proyecto y finalmente en el abandono de los predios. Esto se manifestó de diversas maneras. Ante todo, se produjo el asentamiento incontrolado y el riego de 26 000 hectáreas no incluidas en el proyecto, lo que agravó la escasez de agua que ya era insuficiente para la superficie que abarcaba el proyecto. Ante la expectativa de que en los veinte años comprendidos entre 1948 y 1967 aumentara el agua disponible se produjo un incremento espontáneo del riego de 15 000 hectáreas en la zona directamente beneficiada por las obras de ingeniería (en la periferia del San Lorenzo y en los cursos medio e inferior del Piura). Un efecto indirecto fue el riego de 11 000 hectáreas adicionales en el Piura superior en la esperanza de poder satisfacer las necesidades río abajo mediante la transferencia de agua entre cuencas. Segundo, se tropezó con graves dificultades para adaptar la administración agrícola a los cambios que se produjeron en la disponibilidad de agua, salinidad y anegamiento, lo que contribuyó a la elevada tasa de rotación de los colonos y al abandono de 4 000 hectáreas del proyecto vinculado a su ampliación espontánea. Por último los colonos que llegaron a la región atraídos por el proyecto practicaron un corte excesivo de la vegetación y permitieron el sobrepastoreo en el ecosistema del curso superior.

Gráfico V-1



Pese a que habría sido difícil prever los distintos problemas que surgieron a raíz de esta sucesión de acontecimientos, la experiencia adquirida permite preguntarse hasta qué punto es conveniente ampliar los límites de un sistema fijados en el diseño inicial de un proyecto.

## *2. Consideraciones socioeconómicas*

### *a) La evaluación de proyectos*

El análisis anterior de los límites del sistema ofrece un punto de partida para examinar lo que realmente abarca un proyecto desde el punto de vista del manejo del agua y de la introducción de las dimensiones ambientales. En el capítulo IV se distinguió entre la administración del proyecto y el manejo de los recursos hídricos y al analizar la experiencia recogida de los casos se señaló que en varios de ellos existía la primera pero no la segunda. La definición de un proyecto es, sin duda, arbitraria y refleja la forma en que el decisor percibe el problema que se desea resolver y la medida en que la institución a que pertenece está facultada para encararlo. Un proyecto hidroeléctrico o uno de tratamiento de aguas servidas pueden dividirse para su examen en subproyectos o, a la inversa, considerarse conjuntamente con otros proyectos y programas por autoridades de mayor jerarquía como organismos regionales, nacionales o de las cuencas hidrográficas. El proyecto Chingaza para abastecer de agua a Bogotá se concibió básicamente como una planta de tratamiento, y un túnel y otra infraestructura física necesarias para transferir 20 m<sup>3</sup> de agua por segundo de una cuenca a otra y hacer la conexión con el sistema de abastecimiento de agua de la ciudad. Para colocar este proyecto dentro del marco del manejo de los recursos hídricos, la CAR tendría que considerarlo en relación con una serie de proyectos y de programas de regulación que inciden en el funcionamiento del sistema hídrico de la cuenca superior del Río Bogotá y sus conexiones entre cuencas. En este caso, las partes se considerarían como un todo, es decir, como un proyecto, y los costos y beneficios se evaluarían en función de diversas combinaciones de inversiones en infraestructura y gastos en actividades de regulación con relación a los objetivos del manejo del sistema hídrico.

En la etapa de diseño el proyecto del Guri comprendía una presa, un embalse, una planta generadora y un sistema de transmisión. Posteriormente, se amplió el proyecto o el sistema dentro del cual se administrarían el capital y los recursos de tierra, incorporando la cuenca superior del Caroní. Una situación análoga se produjo en el proyecto San Lorenzo que originalmente se concibió sólo como un proyecto de riego para luego ampliarse transformándose en el programa de cuencas múltiples, que abarca el Chira y el Piura.

Como se señaló en el capítulo IV, si no existen mecanismos institucionales con arreglo a los cuales puedan establecerse los objetivos del manejo de un sistema hídrico y evaluarse como un conjunto los proyectos y programas interrelacionados del sistema (dentro de los diversos límites analizados en la sección precedente) es dable concluir que no hay base para aplicar el análisis de proyectos al problema del manejo del agua. En el anexo A se analizan más detenidamente las ventajas e inconvenientes de la evaluación de proyectos. Por el momento, basta señalar que ofrece una base sistemática para estudiar los problemas del manejo.

b) *La incertidumbre, los riesgos y las economías y deseconomías externas*

Para incorporar la dimensión ambiental en el manejo de los recursos es preciso reconocer expresamente la incertidumbre y los riesgos que esto trae aparejados, las economías y deseconomías externas y la posibilidad de que se produzcan efectos totalmente involuntarios o imprevistos. En cualquier caso de administración surgen incertidumbres como consecuencia de influencias imprevisibles. Pueden señalarse dos fuentes:

i) la incertidumbre acerca del sistema o proyecto objeto de administración, por ejemplo, el comportamiento de un ecosistema cuando se intensifica su uso;

ii) la incertidumbre acerca del medio ambiente dentro del cual funciona el sistema en cuestión, por ejemplo, nueva tecnología, gustos, situación económica y precios o acción del gobierno. En realidad, si estas fuentes se identifican antes de adoptar la decisión, presumiblemente las distribuciones de probabilidades podrán situarse dentro de la gama de resultados posibles. El riesgo es la probabilidad real de que se produzca cualquier resultado.<sup>77</sup> Teóricamente, si se pueden evaluar estos riesgos es posible considerar qué clase de medidas podrían justificarse. Por ejemplo, si en el proyecto San Lorenzo se hubiese establecido que existía el riesgo de la salinización, podría haberse considerado dos tipos de acciones contingentes: invertir en aumentar la investigación para establecer la probabilidad con más precisión e idear medidas preventivas o bien, adoptar un plan de manejo capaz de impedir la salinización o de adaptarse a ella en caso de que se produzca.

En la práctica, los casos analizados revelan que aunque probablemente se reconoció que existían estas fuentes de incertidumbre, al tomar las decisiones rara vez se especificaron y evaluaron expresamente. En el proyecto de Caño Mánamo, los primeros estudios plantearon la complejidad de la administración de los suelos sin investigar el proceso físico y químico del posible deterioro. Al parecer, se estimó que la incertidumbre acerca del comportamiento de este componente del sistema no bastaba para justificar

<sup>77</sup> "Environmental issues", *Scope Report No 10*, Martin W. Holdgate y Gilbert F. White (Eds), John Wiley and Sons, Londres, 1977, pp. 123-131.

mayores investigaciones antes de construir la presa de derivación a través del Caño Mánamo. Algo similar sucedió en la evaluación *ex ante* de la difícil relación entre los aspectos geológicos e hidrogeológicos y la modificación de la superficie y de las condiciones naturales de avenamiento en el proyecto del San Lorenzo. En La Chontalpa una serie de fenómenos sociales y de mercado no planificados dio lugar a modificaciones en la ejecución del proyecto. Estas y otras causas de incertidumbre semejantes fueron dejadas al margen de las decisiones de manejo *ex ante*, por lo que, en las decisiones *ex post* se convirtieron automáticamente en economías y deseconomías externas. Estas externalidades y sus posibles manifestaciones y repercusiones en el bienestar social y económico constituyen la principal preocupación del manejo del medio ambiente.

Desde el punto de vista de la evaluación de proyectos, las deseconomías externas provienen: de la no inclusión de algunos insumos y productos, por ejemplo, las descargas urbano-industriales a un cuerpo de agua; o bien de la valuación errada de los insumos y productos, por ejemplo, puede considerarse que los servicios de agua para eliminar residuos son gratuitos y lo mismo puede aplicarse a los insumos de agua y tierra. Este último aspecto es un problema de fijación de precios de cuenta y no se analizará aquí su aplicación o no aplicación en los casos estudiados. En esta oportunidad la atención se centra en los costos y beneficios que escapan a la consideración de los decisores - los costos y beneficios provenientes de sucesos (insumos o productos) imprevistos o cuyas posibles consecuencias se pasaron por alto.

En el caso de las obras de regulación del agua como las presas, las deseconomías externas generalmente obedecieron a que no se reconocieron adecuadamente las relaciones esenciales que existen entre el agua y el suelo. En especial, el tipo de tecnología agrícola o forestal que se ha aplicado a los recursos de tierra conexos, sea río arriba -como en el caso del Guri-, o aguas abajo -como en los proyectos del San Lorenzo o del Caño Mánamo-, ha sido decisivo para las consecuencias económicas y sociales de los proyectos, reflejadas en la inversión, el producto y el empleo. Entre los ejemplos de situaciones urbanas cabe mencionar los peligros que acarrea para la salud la utilización de las aguas servidas de Santiago para el riego de hortalizas y la destrucción de los bancos de camarones en la Bahía de Guanabara a raíz de la contaminación del agua.

Otro problema es el de los efectos de la escala en el aprovechamiento de los recursos hídricos. Cuando no hay mucho que descontar por concepto de riesgos e incertidumbres, el análisis de los proyectos a menudo revela la existencia de economías de escala. No obstante, cuando hay incertidumbre respecto del comportamiento del sistema natural alterado y de la reacción del sistema social a los cambios, es posible que a los grandes proyectos acompañen grandes deseconomías por los efectos ambientales. Esto indica la conveniencia de realizar el desarrollo por etapas, como se hizo en los casos del Caño Mánamo, o en proyectos experimentales como el de La Chontalpa.

Desde el punto de vista positivo, hay economías externas como la posibilidad de desarrollar pesquerías en el embalse del Guri o de aumentar la productividad de los deltas o estuarios debido a las corrientes aceleradas de nutrientes como consecuencia de la erosión. El proyecto de San Lorenzo ilustra dos clases diferentes de economías externas. La primera es la complementación de la agricultura de riego, en especial el forraje y los subproductos alimenticios del algodón y del arroz, y la producción ganadera de tierras de secano, que permitiría un uso más eficiente de las praderas. La segunda es la capacitación de técnicos y administradores de recursos que ofrece el proyecto. Prácticamente todos los especialistas en riego y colonización más calificados que existen actualmente en el Perú adquirieron su experiencia en el proyecto, entre 1954 y 1970.<sup>78</sup>

Al tener mayor experiencia en la variedad de situaciones que puede confrontar el manejo de los recursos hídricos, es de esperar que cada vez menos hechos escapen a la atención de los decisores. Las listas de verificación son un buen medio para reducir tales omisiones (véase el anexo A). El éxito en el manejo del medio ambiente puede apreciarse en la medida en que estas economías o deseconomías tradicionales puedan expresarse en términos cuantitativos o cualitativos e incorporarse (internalizarse) en el proceso de decisión. Sin embargo, es inevitable que se produzcan hechos imprevisibles. Por ejemplo, en el caso del Guri, podría argumentarse que en la etapa de diseño del proyecto era casi imposible concebir el asentamiento en la cuenca del Caroní y sus consecuencias ecológicas. Se espera que a través de la acumulación y difusión sistemáticas de conocimientos podrán reducirse gradualmente estas incógnitas.

Podría argüirse que estos efectos no deliberados no son en realidad lo mismo que las economías o deseconomías externas en el sentido de que el economista carece de base para evaluarlos hasta que se establece la probabilidad de que se produzcan.<sup>79</sup> La tarea de imaginar tales efectos en el sistema natural incumbe principalmente a la ecología.

### 3. Los factores ecológicos

El examen de los casos considerados indica que la aplicación de la ecología a los problemas del manejo del agua planteados en el capítulo III ofrecería elementos de análisis valiosos, que permitirían a la vez ahondar en el conocimiento del funcionamiento del sistema biofísico, con lo que se evitarían algunos problemas, y aportar a la solución de los problemas una nueva perspectiva integrada distinta de la que se centra en los aspectos de

<sup>78</sup> Véase A.O. Hirschman, *"Development projects observed"*, The Brookings Institution, Washington D.C., 1970, p. 60.

<sup>79</sup> Véase I.M.D. Little y J.A. Mirtlees, *"Project appraisal and planning for developing countries"*, Heinemann, Londres, 1974, pp. 348-349.

ingeniería y económicos. En la presente sección se analizan algunos aspectos ecológicos que evidenciaron los casos examinados, a fin de arrojar luces sobre la clase de análisis que habría ayudado a los decisores a formular y seleccionar opciones en los casos en que cabía esperar que los efectos ambientales netos hubieran sido más positivos de lo que fueron en la realidad.

#### a) *Los efectos en cadena*

La acción recíproca de los componentes funcionales del sistema, sujeta a las condiciones de límites antes analizadas, puede ser simple, produciendo efectos en cadena, pero a menudo los efectos pueden transmitirse por múltiples vías, constituyendo un efecto de telaraña. Estos procesos de eslabonamiento determinan en gran medida las propiedades del ecosistema y es importante comprender no sólo la forma en que operan sino cómo se ven afectados cuando se altera una o más partes de un ecosistema. En este caso, uno de los problemas fundamentales es la elasticidad (*resilience*) que presentan los ecosistemas frente a los cambios.<sup>80</sup> Según se desprende de muchos casos de análisis y de toma de decisiones se supone implícitamente que los ecosistemas naturales o del medio ambiente humano se caracterizan por una tendencia general estable e incluso ascendente, medida sobre la base de la productividad y que después de haber sido alterado, el sistema volverá a su equilibrio original. Sin embargo, la experiencia histórica presenta bastantes pruebas de que puede romperse este equilibrio y restablecerse con una modalidad muy diferente pero estable, que por una u otra razón no se desea.

La búsqueda de las posibles interacciones es uno de los elementos decisivos para evaluar los efectos ambientales. Muchos de los eslabonamientos importantes que aparecen en las primeras investigaciones son directos desde el punto de vista conceptual. Por ejemplo, de la relación entre el almacenamiento, las precipitaciones y las crecidas y disminución de caudales simuladas, se obtuvieron estimaciones confiables sobre la distribución de probabilidades de la regulación aguas abajo de estructuras como las del Guri, Netzahualcoyotl, Puntilla del Viento y San Lorenzo. Sin embargo, las formas en que se producen algunas consecuencias del aumento o de la disminución del caudal son a menudo complejas y poco conocidas y las predicciones de los efectos son muy inciertas.

La experiencia recogida de los proyectos La Chontalpa y Caño Mánamo ilustra las consecuencias que tiene la modificación del régimen de caudales en las propiedades físicas y químicas del suelo y en la flora y fauna de los ecosistemas de deltas. En ambos casos, a causa del descenso del nivel freático el suelo se endureció y resquebrajó, destruyéndose las raíces. En Caño Mánamo, al disminuir la humedad del suelo se produjo sumersión de

<sup>80</sup> Véase C.S. Holling, "Resilience and stability of ecological systems", *American Review of Ecological Systems*, N° 4, 1973, pp. 1-24.

éste, y se formaron sulfatos ácidos y la consiguiente toxicidad por el contenido de aluminio, de tal manera que en algunas zonas se abandonó la explotación agrícola. Además, en algunas de las zonas de sabana húmeda, apropiadas para la ganadería, el descenso de la capa freática hizo proliferar los matorrales. La disminución del caudal por la derivación resultó en la intrusión de aguas salobres hasta 50 km en muchos brazos del delta y afectó el suministro de agua a los asentamientos situados a lo largo del río. El bajo caudal que se registra en la desembocadura de los ríos, sea ocasionado por medidas de prevención de crecidas (La Chontalpa y Caño Máximo) o por derivación o mayor consumo (Aconcagua) también puede influir en la producción de peces al modificarse el nivel del agua, los nutrientes, la flora y fauna acuáticas y la salinidad, o a través de una menor dilución de los desechos industriales y urbanos. Esto último ocurre en el estuario del Aconcagua donde al parecer la dilución insuficiente de la descarga industrial puede haber contribuido a mermar la existencia de peces en las aguas del litoral en varios kilómetros al norte de la desembocadura del río.

En la cuenca Chira-Piura los efectos en cadena producidos por la modificación del régimen de caudales y el uso del agua se tradujeron en salinidad y anegamiento, tanto en el propio proyecto San Lorenzo como en las zonas regadas del Piura medio e inferior. Otro efecto importante que podría afectar al San Lorenzo es la aparición de plagas y enfermedades debido al riego de nuevos terrenos en zonas áridas y semiáridas relativamente aisladas. En la región se ha registrado un incremento de los casos de paludismo, lo que tal vez pueda atribuirse a la ampliación de las zonas pantanosas debido al rebalse ocasionado por el mayor riego. Por otra parte, los microclimas especiales como el del San Lorenzo son propicios para monocultivos tales como el algodón o el arroz cuya resistencia genética puede ser limitada, y envolver riesgos. Podría provocarse una reacción en cadena en que el desarrollo de plagas se vea estimulado por la tendencia a explotar monocultivos aplicando gran cantidad de fertilizantes. La reacción a esto suele ser el uso masivo de pesticidas, que a su vez destruyen los agentes naturales de control y debilitan la resistencia a las enfermedades. El resultado final puede traducirse en enormes pérdidas en las cosechas como ocurrió en el valle de Cañete en el Perú.<sup>81</sup> Algo similar podría ocurrir en el valle del Aconcagua donde la aparente estabilidad hidrológica que proporcionaría la presa de Puntilla del Viento podría estimular el monocultivo de frutales, cuya resistencia al ataque de las pestes sería limitada.<sup>82</sup>

<sup>81</sup> Véase R.F. Smith, "The new and the old in pest control", *Proceedings Accademia Nazionale dei Lincei*, N° 336, 1969, pp. 21-30.

<sup>82</sup> Véase R.F. Smith, "The impact of the green revolution on plant protection in tropical and sub-tropical areas", *Bulletin of American Entomological Society*, N° 18, 1972, pp. 7-14.

Estos efectos ecológicos en cadena suelen multiplicarse debido a la reacción individual o institucional a las nuevas condiciones físicas. En Caño Mánamo, los ganaderos de las zonas de la sabana húmeda protegidas de las crecidas no estaban preparados para adaptar su administración a las nuevas condiciones. El exceso de apacentamiento se tradujo en la pérdida de las especies más apreciadas. Asimismo, la mayor sequedad permitió quemar las praderas naturales lo que al comienzo proporcionó forraje fresco para el ganado, pero las quemas repetidas redujeron aún más las especies preferidas.

Un efecto en cadena diferente lo ilustra la secuencia del desarrollo de la cuenca del Caroní después que se habilitó la zona con la construcción de la presa del Guri. El acceso a la zona por el camino a la presa y posteriormente por el embalse permitió la explotación maderera en la cuenca superior por empresas que construyeron sus propios caminos. Más adelante, llegaron espontáneamente por estos caminos colonos y personas que se dedicaban a la habilitación de tierras que comenzaron a talar los bosques y quemarlos con fines agrícolas. Todo indica que las propiedades físicas de gran parte de la zona sólo permiten la producción de cultivos viables por un período muy limitado, después del cual el bosque no volvería a crecer. Al proyectarse la presa no se tuvo en cuenta la posibilidad de que los hechos se dieran de esta manera y la escorrentía y el régimen de caudales se calcularon suponiendo que la cuenca receptora continuaría siendo una zona de bosques.

Las consecuencias económicas de un efecto en cadena quedan bien ilustradas con la experiencia de la presa de Brokopondo, en Suriname. La presa se construyó a comienzos de los años sesenta y el embalse de 150 000 há se llenó en febrero de 1964. Casi de inmediato la superficie del embalse comenzó a cubrirse de jacintos acuáticos, que antes eran escasos en la región; en diciembre de 1964 había 5 000 hectáreas cubiertas, en junio de 1965, 17 900 hectáreas y en abril de 1966, 41 200 hectáreas. En esa época se dio comienzo a un programa de aplicación de herbicidas cuyo costo anual era 250 000 dólares.<sup>83</sup> No hay estimaciones disponibles acerca de los nuevos efectos en cadena que habría producido el uso de los herbicidas, como modificación de los bancos de peces, aparición de otras especies de flora acuática o evapotranspiración.<sup>84</sup> En México ha ocurrido algo similar: diez embalses han sido invadidos por jacintos acuáticos en 5 a 1000/o de su superficie, siendo el caso más reciente el del embalse de Angostura, de 30 000 hectáreas.<sup>85</sup>

<sup>83</sup> Véase P. Leentvaar, "Lake Brokopondo" en: *Man-made Lakes: Their Problems and Environmental Effects*, W.C. Ackermann, y otros, (Eds.), William Byrd Press, Richmond, 1973, pp. 186-196.

b) *Irreversibilidad y exclusión de opciones*

Por definición, el desarrollo entraña una modificación irreversible de los sistemas naturales. Como es natural, cuando las modificaciones son deliberadas, no afectan el medio ambiente, por ejemplo, la transformación de una parte del desierto de Sechura en tierras agrícolas regadas en el San Lorenzo, o la inundación planificada de 450 000 hectáreas de bosques tropicales por el embalse del Guri. Sin embargo, cuando existe la posibilidad que la modificación inicial planificada tenga una sucesión de eslabonamientos que conduzcan a situaciones imprevistas irreversibles, tal vez la sociedad tenga que lamentar que no se haya estudiado más a fondo el comportamiento del sistema que se proponía modificar.

La urbanización es quizá la modificación más espectacular. Si bien el problema de las deseconomías a que dan lugar los grandes complejos urbanos y las medidas paliativas de descentralización van mucho más allá del manejo de los recursos hídricos, el agua desempeña un papel decisivo en el proceso. No cabe duda que si en ciudades como Santiago o Bogotá se continúa prestando a la población servicios de agua potable abundante y barata, prácticamente se cumplirán las proyecciones del crecimiento demográfico e industrial. Una vez creados los grandes centros urbanos, cuesta imaginar que puedan reducirse, por mucho que el planificador piense que ello sería conveniente por razones económicas, sociales o ambientales. De esta manera, si se aplica una política de crecimiento urbano excesivo, el manejo del agua puede ser un vehículo para limitar tal crecimiento que, de continuar en forma incontrolada, probablemente excluirá las opciones de uso racional de los recursos.

La edificación en tierras regadas altamente productivas de los valles del Maipo y del Aconcagua constituye un ejemplo de consecuencia irreversible. A lo largo de un período de 20 años, Santiago invadió 30 000 hectáreas de riego. Es posible que las propuestas de extender un canal 40 kilómetros al norte de la ciudad para aumentar el riego traigan consigo un crecimiento urbano espontáneo para aprovechar la posibilidad de abastecerse fácilmente de agua no contaminada, con lo que dentro de un plazo de 15 a 20 años tal vez se elimine la nueva superficie regada. En el Aconcagua, de intensificarse la agricultura con el consiguiente desarrollo de las

<sup>84</sup> Véase J.P. Milton, "The ecological effects of major engineering projects", en *The Use of Ecological Guidelines for Development of the American Humid Tropics*. Publicaciones de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y los Recursos (IUCN), nueva serie, Nº 31, Morges, 1975.

<sup>85</sup> "Plan Nacional Hidráulico 1975", segunda parte, *op.cit.*, pp. 179-186.

agroindustrias y servicios, lo más probable es que se urbanicen las tierras regadas.

Asimismo, los cambios en el uso de la tierra también pueden tener posibles consecuencias no planificadas e irreversibles debido a los efectos en cadena. En el proyecto de Caño Mánamo, por efecto del avenamiento, los suelos se han oxidado y acidificado a tal punto en algunas zonas que sería difícil rehabilitarlos para su uso agrícola. La cuenca receptora del Guri presenta otro ejemplo de posibles cambios irreversibles. Se tienen antecedentes de que la destrucción de la cubierta forestal seguida de tres o cuatro años de cultivo de la tierra puede ocasionar el agotamiento casi permanente del suelo y hacer imposible que resista cultivos, pastos e incluso bosques. Además, la erosión y sedimentación aceleradas del embalse eliminarían gradualmente la capacidad generadora en un plazo de 25 a 50 años.

La secuencia que siguió el desarrollo de la cuenca del Chira-Piura arroja algunas luces sobre una forma de excluir opciones. Hasta 1954 el riego de la región se basaba en la derivación de los caudales naturales de un río. El caudal del Piura (675 millones de  $m^3$  al año como promedio) se aprovechaba en su totalidad y en cambio el grueso del caudal del Chira (un promedio anual de 3 470 millones de  $m^3$ ) permanecía sin utilizar. En ese año, al terminarse el canal Quiroz-San Francisco que permitía derivar 600 millones de  $m^3$  al año desde el Chira a la cuenca del Piura, quedaba aún un amplio margen para nuevas derivaciones. El agua suministrada por este canal resultó insuficiente para cumplir con los objetivos fijados, es decir, mejorar el riego en 31 000 hectáreas en el Piura medio y regar 20 000 hectáreas más. Por consiguiente, en 1957 se construyó una presa de regulación en el Chipillico, afluente del Chira, que aumentó la capacidad de derivación en 50  $m^3$  por segundo. Con arreglo a este programa, se aumentó de 20 000 hectáreas a 45 000 hectáreas (proyecto San Lorenzo) la superficie destinada al nuevo riego y en 1959 se completó el sistema de canales. El aumento espontáneo del riego, la salinización y el uso intensivo hicieron que el agua obtenida en la segunda etapa resultara insuficiente para satisfacer la demanda y resolver el problema de la salinidad. Por lo tanto, se inició un tercer programa de regulación y transferencia entre cuencas, que exigía construir una presa de regulación (Poechos, con una capacidad de almacenamiento de 1 000 millones de  $m^3$ ) en el brazo principal del Chira, derivar 1 200 millones de  $m^3$  a la cuenca del Piura, regar 36 000 hectáreas adicionales, aumentar la capacidad del embalse del San Lorenzo de 254 a 312 millones de  $m^3$ , mejorar el avenamiento de 8 000 hectáreas en el San Lorenzo y 30 000 hectáreas en la cuenca del Chira y aprovechar las aguas subterráneas de 35 000 hectáreas ya parcialmente regadas del Piura superior.

Estos ajustes sucesivos se fueron realizando a medida que se presentaban las variaciones en la demanda. De esta manera, los encargados del manejo del agua tuvieron que reaccionar a una serie de sucesos no previstos. Afortunadamente al comienzo pudieron hacer modificaciones escalonadas.

nadas aumentando la transferencia entre cuencas. Si no hubiesen tenido esta opción podrían haberse presentado graves problemas ambientales, económicos y sociales. En situaciones como éstas, llega el momento en que si siguen produciéndose sucesos no planificados que distorsionan la relación entre las proyecciones de la demanda y la realidad, la alternativa que queda sólo puede ponerse en práctica con grandes dificultades. Desde el punto de vista técnico, la transferencia de agua entre cuencas siempre es una opción. En el proyecto San Lorenzo la etapa siguiente exigiría llevar agua desde el río Huancabamba situado en la cuenca del Amazonas. La puesta en práctica de esta opción puede verse limitada por consideraciones económicas y financieras. Aparte de la viabilidad económica y financiera hay que tener presente la escala y la indivisibilidad de un proyecto tan ambicioso.

Se pueden excluir opciones económicamente viables como consecuencia de los factores sociales y políticos que entran en juego cuando el manejo del agua tiene que hacer frente a factores de producción ineludibles. Por razones económicas y políticas no convendría que los gobiernos abandonaran una infraestructura de costo elevado ya existente. Además, aparte de los costos sociales y de la resistencia a la migración está la perspectiva de contribuir a que aumente el desempleo. De esta manera, las transferencias entre cuencas a menudo pueden considerarse "operaciones de rescate".<sup>86</sup> El proyecto de Caño Mánamo es otro ejemplo de exclusión de opciones. La presa de regulación ha aumentado aproximadamente en 100% el caudal en el resto del delta del Orinoco y el nivel del agua ha subido en promedio algunos centímetros, lo suficiente para cambiar la composición de la vegetación en algunas zonas y dejar inmersas algunas especies forestales, la más importante de las cuales desde el punto de vista comercial es la ceiba (*Ceiba pentandra*). Esta secuencia sólo se conoció después que la presa de derivación había estado en funcionamiento dos o tres años. Corregir esta situación construyendo nuevos diques habría sido sumamente complejo y costoso y lo más probable es que se hubiesen producido otros efectos en cadena negativos. Así, pues, todas las opciones para hacer frente a esta pérdida parecen cerradas. Lo fundamental es determinar si, en el proceso de aumentar el uso del agua, se pueden mantener abiertas algunas opciones para estar en situación de tomar medidas preventivas en vez de tener que hacer costosas modificaciones correctivas para solucionar fenómenos imprevistos.

Incluso cuando se reconoce la existencia de un efecto en cadena a veces hay cierta inercia institucional para tomar medidas con la suficiente antelación, que permitan actuar con flexibilidad. Un ejemplo de esta clase de situación que podría llegar a ser irreversible es la intrusión de aguas salobres en el acuífero del llano costero de Hermosillo, en la zona noroccidental de México.

<sup>86</sup> Véase C.W. Howe y K.W. Easter, *Interbasin transfers of water: Economic issues and impacts*, Johns Hopkins Press, Baltimore, 1971, pp. 27-29. Para conocer otro punto de vista véase, G. Gulubea y A. Biswas (Eds.), *Interregional Water Transfers*, Pergamon Press, Oxford, 1978.

En los años sesenta el almacenamiento disminuyó aproximadamente 1 000 millones m<sup>3</sup> al año y el volumen de agua del acuífero se redujo en un 30%. Se estima que durante el período el avance de la salinidad hacia el interior fue de alrededor de 1 kilómetro al año.<sup>87</sup> Al extrapolar estas tendencias se obtiene una proyección según la cual, de no llevarse a cabo transferencias masivas de agua como las que contempla el programa PLINHO, el riego, que es la base económica de una importante población rural y urbana, quedaría eliminado en un período relativamente breve.

Se ha sostenido que el problema de la irreversibilidad se acentúa porque existe la tendencia a que las decisiones de política o diseño erradas tomadas en un comienzo den lugar a nuevas decisiones equivocadas cuando surgen problemas críticos.<sup>88</sup> Una vez que se ha tomado un rumbo equivocado, es posible que el esfuerzo por corregirlo tienda a apartar aún más el proceso de su objetivo original. Hay una exclusión de opciones que, en parte, surge de la renuencia a reconocer los errores. La tendencia a la irreversibilidad de las propiedades físicas y biológicas del sistema puede equipararse con una tendencia análoga de las opciones de política y diseño.

#### 4. La evaluación de la tecnología

El desarrollo entraña la aplicación de tecnologías para regular o aumentar el uso del agua y de los recursos conexos, siendo por tanto axiomático que la elección de la tecnología constituye el factor determinante de la calidad del medio ambiente. El problema fundamental en este caso es el conflicto que se plantea cuando aumenta el uso de los recursos. Así, en todo examen de los aspectos ambientales del manejo del agua es de importancia decisiva disponer de tecnologías que puedan incrementar o disminuir la demanda de servicios que prestan los recursos hídricos y conexos o la oferta utilizable de tales servicios.<sup>89</sup> Por ejemplo, entre las tecnologías que aumentan la demanda es la minería hidráulica y el transporte de lodos; en cambio, el desarrollo de plantas resistentes a la sequía o de tipos de energía distintos de la hidroelectricidad (energía solar, geotérmica o fisión nuclear) son tecnologías que la reducen. El manejo de la tierra destinado a reducir la biomasa en las cuencas receptoras de los ríos puede disminuir el suministro de agua utilizable; el incremento puede lograrse mediante técnicas como la siembra de nubes, el remolque de icebergs o la desalinización.

<sup>87</sup> R.G. Cummings, *Interbasin water transfer: A case study in México*. Johns Hopkins Press, Baltimore, 1974, pp. 89-94.

<sup>88</sup> C.J. Walters, *"Foreclosure of options in sequential resource development decisions"*, IIASA, Research Report N° RR-75-12, Luxemburgo, 1975.

<sup>89</sup> Véase *"Potential technological advances and their impact on anticipated water requirements"*, Academia Nacional de Ciencias, Documento PB-204053, Washington, D.C., junio de 1971.

En esta oportunidad, se examinará la experiencia recogida de los casos estudiados con el propósito de dar a conocer ejemplos de aplicación de la tecnología para corregir la degradación ambiental. Tal vez surjan de este análisis algunas medidas preventivas que podrían incorporarse a los programas de manejo.

a) *Las medidas correlativas y los principios técnicos "fijos"*

Los cuatro casos de complejos urbanos considerados reflejan gran preocupación por la calidad del agua. En todos ellos se han realizado estudios que recomiendan hacer grandes inversiones en medidas correctivas y en Río de Janeiro ya se ha invertido una suma apreciable en la eliminación de desechos. En los cinco casos de regulación de caudales que se han estudiado, se aplicaron distintas medidas correctivas para proteger tanto las inversiones como la productividad.

¿Qué enseñanza puede sacarse de esta experiencia? Si se supone que las clases de degradación ambiental que ilustran estos ejemplos pueden predecirse mediante la evaluación de los efectos, estos elementos se convierten en factores internos del manejo del agua. De esta manera, los principios técnicos "fijos" exigen incorporar desde un comienzo las medidas correctivas a los planes y al diseño de proyectos con el fin de prevenir los efectos ambientales. En una situación análoga a la del proyecto San Lorenzo se necesitaría un control más severo del uso de la tierra y del agua y de la tenencia de la tierra para garantizar el suministro adecuado de agua y la aplicación de la rotación de cultivos especiales en las zonas en que de antemano se sabe que podrían presentarse problemas de salinización. El sistema de avenamiento debería formar parte del proyecto inicial, igual que un programa para proteger la cuenca e integrar el ganado, que apacenta estacionalmente en las praderas, al sistema de producción de la zona regada.

En Caño Mánamo se ha aprendido mucho durante los últimos ocho años acerca del manejo de los suelos que contienen sulfatos ácidos cuando están bien drenados y protegidos de las crecidas. Una vez más la clave es aplicar tecnologías perfeccionadas y ejercer un control severo. Deben tomarse medidas para lavar los suelos en la estación lluviosa y controlar cuidadosamente el nivel freático combinando el avenamiento y el riego, para que cubra justo el estrato de suelos sulfatados y de esta manera evitar la oxidación. Cuando estos estratos están muy próximos a la superficie, el ácido sulfúrico puede neutralizarse con profusas aplicaciones de cal. Esta delicada operación de manejo se facilita utilizando polders de aproximadamente 1 000 hectáreas cada uno. Los cultivos deben elegirse de acuerdo con su tolerancia a la acidez y a la toxicidad ocasionada por el aluminio. Tanto el desarrollo como el manejo del sistema son complejos y costosos.

En las regiones áridas y semiáridas, como los valles del Maipo y del Aconcagua, San Lorenzo o Lima, en que el agua es un factor que limita el desarrollo, la eficiencia en todos los usos resulta decisiva. La eficiencia se

mede en función de la producción por unidad de insumo, en este caso, la producción agrícola o industrial o los servicios de suministro doméstico urbano por m<sup>3</sup> de agua que entra al sistema. En general, el procedimiento consiste en sustituir el agua por factores, como el capital o la mano de obra, en la forma de tecnologías diferentes. La eficiencia económica de una tecnología dependerá del costo de los factores y obviamente la conservación de la calidad del medio ambiente puede exigir reglamentar o manipular el sistema de precios (subsídios, impuestos, etc.) de manera que refleje las preferencias de la sociedad y no las particulares de los productores.

En el valle del Aconcagua, se estima que la eficiencia actual del riego fluctúa entre 35 y 45%. Se considera que podría llegarse a 70% si se realizan inversiones para mejorar el sistema de distribución, el almacenamiento en el predio, la nivelación de los terrenos, y se controla más cuidadosamente la aplicación del agua. Duplicando la eficiencia del riego, con lo que se reduciría la demanda del sector agrícola, las autoridades de manejo tendrían mayor flexibilidad para hacer frente a los conflictos y a la competencia que inevitablemente surgirán a medida que el desarrollo aumente las múltiples necesidades de agua. Para poder imponer tales niveles de eficiencia es posible que haya que recurrir a medidas como fijarle tarifas progresivas al agua o gravarla con impuestos.

Los procesos industriales presentan grandes diferencias en lo que respecta al uso del agua. En algunos casos se puede cambiar a tecnologías que ahorran agua sin tener que incurrir en grandes costos y, a menudo, las nuevas plantas tienen un costo marginal insignificante. Se trata más bien de un problema de transmisión de la información y de expresión de los objetivos de política. En el sistema de distribución de agua de Lima las pérdidas llegan a 35%, a lo que hay que agregar otro 15% que desperdician los consumidores.<sup>90</sup> La eficiencia podría aumentar mediante la reconstrucción del sistema, la medición de todos los usos y quizá, introduciendo tarifas progresivas.

Los casos urbanos analizados dan ejemplos aún más claros de soluciones técnicas para preservar la calidad del agua. El tratamiento de los desechos es tal vez el mecanismo de control de la calidad ambiental que puede introducirse y mantenerse más fácilmente. En general, la contaminación del agua no es irreversible aunque a veces sus efectos han sido permanentes. Actualmente existen tecnologías para el procesamiento industrial o el tratamiento de las aguas servidas que pueden transferirse, y de hecho se han transferido, a América Latina. Es posible construir nuevas obras de almacenamiento aguas arriba de las fuentes contaminantes a fin de proporcionar caudales de dilución, como se propuso en el caso de la presa de Salvajina, en el Cauca, donde parte del embalse sería objeto de manejo con

<sup>90</sup> Binnie y Partners, Ingenieros Consultores, "Transferencia de agua de la Cuenca del Río Mantaro a Lima", Lima, abril de 1974.

el fin de preservar la calidad de las aguas del río en Cali y corriente abajo. La tecnología de reutilización del agua también puede transferirse. En Caracas hay planes para reutilizar 20 m<sup>3</sup> por segundo, aproximadamente un tercio de las necesidades de la ciudad proyectada para el año 2000.

En su mayor parte, las tecnologías sugeridas utilizan un elevado coeficiente de capital y energía. Además, pueden exigir gran capacidad técnica y administrativa a las instituciones encargadas de mantener la infraestructura, la capacitación de los usuarios, o la imposición de controles. Por otra parte, un requisito previo para la aplicación de los elementos técnicos "fijos" es la predicción de los efectos en cadena, y otros. En la medida en que esto se logre mejorará la adopción de decisiones. Sin embargo, lo que realmente preocupa son los efectos imprevisibles.

#### b) *La adaptación de tecnologías*

En este caso, en vez de concentrarse en evaluar el efecto ambiental, la planificación y el diseño del proyecto se orientan a seleccionar un ecosistema y, en el marco del conjunto de instituciones que regulan su uso, a evaluar opciones para identificar una forma de aprovechamiento que ofrezca probabilidades aceptables de alcanzar un rendimiento sostenido, proporcionar un margen de reacciones flexibles, aumentar al máximo la utilidad actual dentro de las limitaciones señaladas y concebir una modalidad de desarrollo futuro menos sujeta a la exclusión de opciones.<sup>91</sup> El medio ambiente se considera no como un impedimento rebelde sino más bien como un recurso con atributos beneficiosos que pueden utilizarse, ampliarse y enriquecerse.

Para aplicar este concepto hay que reconsiderar en su totalidad las políticas de aprovechamiento adoptadas. Por ejemplo, en el caso de San Lorenzo cabe preguntarse si no habría sido mejor intensificar el uso de la tierra en vez de realizar transferencias masivas de agua o si no habría sido más apropiada una tecnología de agricultura de riego menos avanzada. Las respuestas a estos interrogantes dependen en gran parte de la política nacional y de las opciones de aprovechamiento. Caño Mánamo ofrece pruebas más concretas de adaptación de tecnología. Se ha llegado a la conclusión de que la avanzada tecnología descrita sólo podría aplicarse en una superficie relativamente limitada en el delta superior del Orinoco. Una posibilidad aplicable a una zona mucho más amplia del delta superior y medio, es adaptar plantas, animales y prácticas de manejo al régimen hidráulico sin recurrir a la derivación, la construcción de diques, el avenamiento o los polders. Para hacer frente a las necesidades del desarrollo habría que introducir variedades de cultivos y pastos de alto rendimiento y mejorar las razas de ganado (carabaos y carpinchos) que resisten las fluctuaciones estacionales del nivel del agua. La experiencia recogida del pro-

<sup>91</sup> G.A. Norton, "Toward a concept of strategic resource planning", *International Journal of Environmental Studies*, N° 4, 1973, pp. 189-199.

yecto La Chontalpa es aún insuficiente para probar hipótesis sobre la conveniencia de los sistemas de prevención de crecidas, cuyas ventajas han sido puestas en tela de juicio en otros casos y siguen siendo motivo de polémica.<sup>92</sup>

En el caso de la presa de Puntilla del Viento se ha discutido si el manejo cuidadoso del acuífero en el curso medio del Aconcagua tal vez sea un método más apropiado para regular el caudal. El problema del manejo de los acuíferos se ha planteado en el norte de México donde se registra una evaporación anual del orden del 100/o del almacenamiento del embalse.<sup>93</sup> Desde el punto de vista económico esto equivale a aumentar en esta cifra el cobro por concepto de intereses sobre un proyecto de embalse.<sup>94</sup> Aparte de las pérdidas por evaporación que se producen en las zonas áridas como las de Chile, la costa del Perú y el norte y centro de México, quizá se justifique considerar la posibilidad de almacenar y manejar las aguas subterráneas como alternativa a la construcción de embalses en general, donde la sedimentación es elevada, como en el Maipo; o donde existe la posibilidad de que se produzcan pérdidas apreciables de valiosos terrenos agrícolas o madereros debido a las inundaciones ocasionadas por los embalses.

En la sección siguiente se analiza el problema de la predicción del comportamiento del sistema como base para seleccionar la tecnología destinada a reducir el daño ambiental y el diseño del manejo del agua de manera de poder conservar la flexibilidad para reaccionar ante sucesos imprevisibles.

### 5. Los aspectos metodológicos

En el examen precedente se subrayó la necesidad de mejorar la información y su correspondiente análisis en que se basan la planificación y evaluación de las posibles tecnologías y opciones destinadas a intensificar el uso del agua, con el fin de que el manejo de los recursos pueda encarar mejor las incertidumbres. La principal fuente de incertidumbre se relaciona con el medio ambiente: los hechos no planificados e incontrolados a que dan lugar los componentes que no se tienen en cuenta en la concepción original de los sistemas malogran los resultados. Además del diseño de proyectos y

<sup>92</sup> Véase G.F. White, "Natural hazards. Research, concepts, methods and policy implications", en *Natural Hazards: Local, National, Global*, G.F. White (ed.), Oxford University Press, Londres, 1974, pp. 3-16.

<sup>93</sup> R.G. Cummings, *Water resource management in Northern Mexico*, Johns Hopkins Press, Baltimore, 1972, pp. 9-10.

<sup>94</sup> Para una evaluación de los procedimientos, véase R.G. Cummings y D. Winkelmann, "Water resource management in arid environs", *Water Resources*, vol. 6, N° 6, Diciembre de 1970, pp. 1559-68.

de sistemas de manejo, cabe analizar la forma en que deberá organizarse el manejo para actuar con flexibilidad frente a la dinámica de los efectos en cadena y para instituir mecanismos de control. En esta sección se examina el grado en que se han aplicado, o pueden ser aplicables, a los casos estudiados algunas metodologías de evaluación de los problemas ambientales que surgen de la relación existente entre el desarrollo y el manejo del agua.

#### a) *La información*

Realizar investigaciones y estudios exhaustivos de la flora, la fauna, la hidrología, los suelos, la geología y de todos los aspectos socioeconómicos y legales resulta costoso, demora mucho y requiere especialistas calificados que en la mayoría de los países latinoamericanos son escasos. El imperativo político y social de acelerar el desarrollo económico debe conciliarse con el mantenimiento a largo plazo de la capacidad productiva del sistema natural. Confrontada a este dilema, la mayoría de los países opta por actuar de inmediato en la esperanza de que se concebirán acciones correctivas antes de que queden excluidas todas las opciones. En el caso de los sistemas hídricos dominados por complejos urbanos o de aquellos donde ya hay un desarrollo intensivo de la agricultura, como en el Aconcagua, este criterio no admite otra alternativa. Los cuatro casos restantes regidos por estructuras de regulación también indican que se adoptó una estrategia análoga.

Sin embargo, se plantean los siguientes interrogantes fundamentales:

i) ¿Habría sido mejor postergar las decisiones mientras se reunía más información, o realizar un análisis adicional al ya disponible? ; y

ii) ¿qué información, y análisis adicionales serían apropiados? La respuesta depende del marco dentro del cual se intente identificar las cuestiones claves dado que al comienzo se está tratando con lo desconocido. Cuando se inició el programa Pinheiros-Billings-Cubatao (1930) nadie habría pensado que en 45 años la población de São Paulo aumentaría de 1 millón a 10 millones de habitantes; tampoco habrían podido predecirse los cambios tecnológicos y en la estructura del consumo que acompañaron a este crecimiento. Asimismo, en Caño Mánamo nunca se pensó que existiesen condiciones para que se formasen suelos ácidos sulfatados. Hoy es posible afirmar que las decisiones de manejo se adoptaron sin tener información, o sin utilizar la información disponible acerca de variables cuya importancia ha quedado demostrada por la experiencia. Esta situación es inevitable, y es de esperar que al aumentar el conocimiento y mejorar el análisis se reduzca la gama de variables desconocidas.

Un método aplicable, ilustrado por los proyectos de La Chontalpa y Caño Mánamo, es el proyecto experimental en que se ensayan procedimientos para aplicarlos al desarrollo en gran escala. Originalmente, La Chontalpa tuvo carácter experimental, y fue una de las siete unidades del aprovechamiento en etapas de 35 000 hectáreas de la llanura de aluvión de

los ríos Usumacinta-Grijalva. El proyecto de la Isla Guara (23 000 hectáreas) también se estableció experimentalmente, como parte de un programa de habilitación de 400 000 hectáreas en el delta del Orinoco. Desde sus comienzos ambos proyectos se vincularon a amplios programas de investigación y capacitación agrícolas. Una vez más, la escala y diseño de tales proyectos experimentales los determinará el método analítico específico adoptado, tema que se analiza en el resto de la presente sección.

#### *b) Los aspectos interdisciplinarios*

A la luz de la experiencia analizada en la sección 3 cabría pensar que en muchos casos tendría que considerarse una mayor variedad de elementos para adoptar las decisiones. Esto plantea la importancia de los enfoques interdisciplinarios en los procesos de planificación, diseño de proyectos y vigilancia, los que podrían ofrecer pautas a quienes administran los recursos naturales. La experiencia indica que en las decisiones sobre la regulación del agua han prevalecido las consideraciones económicas y de ingeniería. Por ejemplo, en Caño Manamo, o los especialistas en suelos no recibieron instrucciones de investigar el problema de los sulfatos ácidos o bien no se tuvo en cuenta su recomendación por estimar que carecía de importancia para la decisión definitiva sobre el diseño del proyecto. En La Chontalpa, las recomendaciones de los antropólogos acerca de los intereses y motivaciones de los campesinos que residían en la zona, si es que fueron formuladas, no parecen reflejarse en la administración del proyecto. En principio, sería difícil oponerse a que se aumenten las disciplinas que contribuyen al análisis. No obstante, cabe cuestionar su utilidad si se tienen en cuenta los puntos de vista del decisor y el marco global dentro del cual pueden hacerse los aportes técnicos.

El hecho que varias disciplinas no se hayan incorporado a los planes de manejo o al diseño de proyectos no supone necesariamente una crítica a los encargados de tomar las decisiones. Alguien tiene que decidir, basándose en la información disponible; como se dijo, siempre habrá incógnitas y en ese caso se carecerá de base sobre la cual buscar la información. Ante esta situación, el asesor técnico o el decisor se ven limitados por su propia experiencia y conocimientos, lo que sucede también en cualquier otra disciplina. Los ingenieros, que siempre han sido los que han adoptado las decisiones, no están más limitados en sus puntos de vista que los abogados o los bioquímicos. En los casos de asentamiento de tierras es muy posible que se haya contado con un gran número de informes sobre los aspectos ecológicos, sociológicos, de administración agrícola, etc., pero no así con criterios para evaluar las recomendaciones dentro de un marco unificado. Si no existe este marco es fácil que los especialistas tengan una perspectiva limitada que no es particularmente útil para los decisores ni para la planificación. Por ejemplo, un estudio acucioso sobre la flora y la fauna del ecosistema de La Chontalpa sería de escaso valor a menos que se integrase

en la evaluación de los efectos y cambios económicos, sociales y ambientales que produce la aplicación de diversas estrategias de intervención.

Hay que subrayar que por muy comprensivo que sea el marco y por muy amplio que sea el espectro de disciplinas, siempre habrá que ocuparse de los aspectos desconocidos y del diálogo entre los analistas y los decisores.

### c) *El análisis integrador*

Habitualmente la planificación y el manejo se apoyan en la evaluación de proyectos centrada en el análisis de costo-beneficio. Este tipo de análisis continúa desempeñando un papel decisivo en la planificación de los recursos hídricos. En los casos examinados se aplicó rutinariamente a todas las grandes estructuras y proyectos de habilitación de tierras —Guri, Caño Mánamo, La Chontalpa, San Lorenzo y Chira-Piura<sup>95</sup>— y en los cuatro casos de complejos urbanos, a los planes de alcantarillado y de purificación del agua.<sup>96</sup>

La experiencia recogida de los casos analizados indica que cuando hay implícitas consecuencias ambientales debe especificarse cuidadosamente la aplicación del análisis de costo-beneficio. Por ejemplo, en los cuatro casos de regulación de caudales había que modificar bastante la vegetación y gran parte de los efectos se pasó por alto al contabilizar los flujos de fondos. En el Proyecto Guri, el valor actual neto de las corrientes monetarias puede evaluarse a distintas tasas de descuento relacionadas con las estrategias optativas para el manejo de la cuenca del Caroní así como de acuerdo con el costo o ingreso a que se renuncia al adoptar medidas de conservación gradualmente más severas. En este caso el objetivo es maximizar los beneficios netos (beneficios mensurables menos costos mensurables), o la contribución al producto nacional bruto, sujeto a una serie de restricciones impuestas debido a la incapacidad de expresar los efectos ambientales en términos monetarios, o a que no se quisieron aceptar los

<sup>95</sup> Véanse "Plan piloto El Limón", CIEPS de México e Italconsult de Argentina, volumen I, México D.F., 1975; "Informe de factibilidad: Proyecto del Delta del Orinoco: Isla de Guara", Informe 3-4, Tibbetts-Abbot-McCarthy Stratton, Ingenieros Consultores, Nueva York, 1968; "Guri project: Economic aspects", Harza Engineering Company International, Caracas, 1961; L. Mercado y A. Pérez Alcázar, "Informe del estudio económico del proyecto de derivación del Río Quiroz al Piura", Dirección General de Irrigaciones, Ministerio de Agricultura, 1951; e "Integrated development of resources in the Tumbes-Chira-Piura river basins of Peru", International Engineering Company Inc., Lima, mayo de 1968.

<sup>96</sup> Véanse "Desenvolvimento global dos recursos hídricos das Bacias do Alto Tiete e Cubatao", Hidroservice-Brasconsult-CESA, São Paulo, 1968; "A master plan of waste disposal for Rio de Janeiro", Departamento de Esgotos y Engineering Science Inc., Rio de Janeiro, 1964; "Estudio de racionalización: Primera sección del Río Maipo", Dirección General de Aguas —IPLA, Santiago, 1974; y "Bogotá river improvements: Flood control, water resources and wastewater disposal", EAAB/CDM-CEI-PLANHIDRO, Bogotá, febrero de 1974.

supuestos de distribución del ingreso implícitos en la adopción de la actual estructura de precios. Del mismo modo, en lo que respecta a la preservación de la calidad del agua, en los complejos urbanos a menudo es difícil si no imposible expresar las metas en términos monetarios. En estos casos hay que establecer un rango aceptable para algunos parámetros —como el oxígeno disuelto o las bacterias— relacionados con las condiciones estéticas, de esparcimiento o ecológicas deseadas; éstos se convierten en restricciones para cualquier función objetivo.

Las restricciones ambientales podrían aplicarse al ecosistema natural, al sistema socioeconómico y al sistema sociocultural. En el caso del ecosistema, las restricciones se impondrían fundamentalmente para evitar el riesgo de tener que excluir futuras opciones de desarrollo debido a la incertidumbre acerca de las consecuencias irreversibles que podría tener un determinado curso de acción y la magnitud de los efectos que se suponen irreversibles.<sup>97</sup> Las restricciones impuestas por el sistema socioeconómico podrían incluir la distribución del ingreso, la nutrición, la salud, la recreación y la distribución espacial de la población o de la actividad económica. Las limitaciones socioculturales podrían basarse en consideraciones estéticas, de seguridad personal, o en el grado de opción individual o de estabilidad cultural.

Aparte las limitaciones para monetizar los costos y beneficios y establecer las restricciones, es muy fácil aplicar erradamente el análisis de costo-beneficio. La simple demostración de una relación positiva puede considerarse justificación suficiente para la inversión o reglamentación dejándose de investigar opciones que pueden ser más convenientes. El análisis puede estar sujeto a supuestos con arreglo a los cuales se establece un resultado positivo por definición. La naturaleza o tamaño de algunos proyectos puede modificar la estructura de precios de sus insumos o productos o de otras actividades con las cuales pueden rivalizar. Todo ello indica que es preciso obrar con cautela al aplicar e interpretar los resultados (véase el anexo A).<sup>98</sup>

Dadas las limitaciones del análisis de costo-beneficio hay que buscar otros métodos como los modelos o matrices de los efectos ambientales que puedan:

i) ayudar a la evaluación proporcionando una mejor especificación de las restricciones, o mediante la internalización de una gama más amplia de variables o una base mejor para valorizar los insumos y productos; o bien

<sup>97</sup> Véase A.C. Fisher y J.V. Krutilla, "Valuing long-run ecological consequences and irreversibilities", *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 1, 1974, pp. 96-108.

<sup>98</sup> Para un análisis de la aplicación errada del análisis de costo-beneficio a los proyectos de uso del agua, véase O.C. Herfindahl y A.V. Kneese, "The economic theory of natural resources", Charles E. Merrill Publishing Co., Columbus, Ohio, 1974, pp. 270-280.

ii) ofrecer una nueva visión de los factores que influyen en las decisiones de planificación y manejo.

En ninguno de los casos de manejo del agua examinados se aplicó la evaluación de los efectos ambientales. Esto no debe sorprender ya que sólo alrededor de 1975 comenzó a reconocerse en la región el valioso aporte que tal evaluación representaba para la adopción de decisiones. En el anexo A se examinan brevemente las técnicas de evaluación de los efectos ambientales que se han aplicado en otros lugares. En el resto de la presente sección se analiza la forma en que los modelos podrían contribuir a un análisis integral y cómo se aplicaron en los casos estudiados.

Los modelos pueden clasificarse un tanto arbitrariamente en dos clases: modelos descriptivos y de manejo. Los primeros procuran explicar el comportamiento de un sistema, sus componentes individuales o las interrelaciones de estos componentes, y pueden usarse para predecir las consecuencias de incorporar una actividad disociadora o de la intervención del sector público destinada a mantener o restablecer un nivel predeterminado de calidad ambiental. No tienen una función objetivo y por lo general emplean técnicas de simulación para obtener resultados de situaciones que pueden incorporar nuevas aplicaciones de los instrumentos de política. Los modelos de manejo son normativos en el sentido de que la función objetivo se establece externamente, y utilizan técnicas de programación que producen una solución óptima de valor único sujeta a las restricciones impuestas. Estas dos clases de modelos pueden combinarse de diversas maneras; por ejemplo, los modelos descriptivos pueden utilizarse para calificar las limitaciones utilizadas en un modelo de manejo; o bien, pueden utilizarse los modelos en forma concatenada, de manera que el producto de uno sea el insumo del otro. La principal dificultad radica en la elección y aplicación correcta de técnicas analíticas (véase el anexo A) que contribuyan a evaluar diversos proyectos, el papel del mercado y las medidas de control, en la búsqueda constante de estrategias de manejo de los recursos que incorporen problemas ambientales como las que se analizan en las secciones anteriores.

Al diseñar programas o proyectos de manejo del agua hay que abocarse a dos problemas —la especificación de objetivos múltiples y la información sobre los beneficios y costos y el comportamiento dinámico de los sistemas físicos y sociales.

La fijación de objetivos es un proceso hasta cierto punto intuitivo y, además, un proceso iterativo que entraña evaluar las soluciones de transacción desde el punto de vista de los costos en que se prevé incurrir para aplicarlas. En el capítulo IV ya se trató el punto crítico de quién decide. La cuantificación de los costos y beneficios es un problema de información que, en lo relacionado con las dimensiones ambientales, parece ser prácticamente insuperable y es discutible que se justifique el esfuerzo de procurar una cuantificación estricta. Mucho se ha escrito sobre los problemas de la monetización de los distintos tipos de insumos y productos y de la fijación de los correspondientes precios de cuenta (véase el anexo A). La

mejor oportunidad de mejorar las bases de la adopción de decisiones parece ofrecerla la segunda clase de problemas de información -el funcionamiento de los sistemas físicos y sociales. El uso de técnicas de costo-eficacia o de optimización restringida, en que se imponen como restricciones normas mínimas de protección ambiental o bienestar social, permitiría evaluar las necesidades de reglamentación. No hay duda que al tener mayor conocimiento del comportamiento de los componentes naturales y sociales se podrán evaluar mejor los objetivos originales, las normas ambientales, la necesidad de reglamentación y vigilancia, los riesgos y ventajas que trae consigo el uso del mecanismo de mercado para ejercer el control y el diseño de proyectos optativos.

En los proyectos o casos de manejo del agua examinados se utilizó una serie de técnicas destinadas a proporcionar mejor información a los decisores. En los ocho casos en que los ríos eran el elemento central del sistema hídrico se aplicaron modelos de simulación hidrológica con sus alcances económicos. Se han usado técnicas de simulación para predecir el comportamiento de OD, de las bacterias coliformes y de la salinidad en la Bahía de Guanabara frente a diversas cargas y puntos de descarga de los desechos. En el río Bogotá se utilizó la programación lineal para simular la calidad del agua (OD y DBO). Sin embargo, el hecho de que en los casos examinados no se haya incorporado efectivamente una serie de disciplinas necesarias en el diseño o vigilancia del proyecto se considera como una prueba *prima facie* de que se debe utilizar un método diferente. Tal vez sea innecesaria o conduzca a error la construcción de grandes modelos de complejos sistemas naturales, económicos, sociales e institucionales. No obstante, para realizar con una perspectiva de largo plazo un análisis interdisciplinario e integral de los objetivos, la relación costo-eficacia, el riesgo y la incertidumbre, relacionados con diversas estrategias posibles de manejo del agua, parece que no queda otro recurso que aplicar la técnica de los modelos matemáticos.

#### 6. Observaciones finales

Los métodos analíticos examinados en el presente capítulo son de aplicación universal -no tienen ningún elemento que sea particularmente latinoamericano. Cabe preguntarse entonces cuán aplicables son al medio latinoamericano. Antes de analizar este punto es importante aclarar cualquier falsa ilusión que haya podido crear el texto en el sentido que la dimensión ambiental del manejo del agua puede manejarse fácilmente si se cuenta con la información adecuada y se aplican técnicas de construcción de modelos y de evaluación de proyectos. Esto dista mucho de ser efectivo. Ante todo, no es fácil identificar las fuentes de incertidumbre y si se llegan a especificar, los decisores rara vez están dispuestos a considerar que la incertidumbre forma parte expresa del proceso de planificación y a asignar distribución de probabilidades de que se den en la realidad. Segundo, el proceso de

toma de decisiones es dinámico y debe adaptarse a los sucesos imprevistos que se produzcan no sólo en el sistema natural sino también en los sistemas político, social e institucional, en que dados los objetivos múltiples, las soluciones de transacción entre ellos irán cambiando a medida que varíen las preferencias en el tiempo. Las técnicas disponibles simplemente no se prestan para resolver estos problemas.

La selección de las técnicas dependerá específicamente de la índole de los problemas de manejo que haya que resolver. Aquí el planteamiento de los problemas es fundamental y lo determinan las condiciones culturales, políticas, socioeconómicas y ecológicas que predominan en cada caso concreto. No existe una regla general que indique cuándo y cómo se debe aplicar un conjunto de técnicas. En muchos casos por falta de información o de personal capacitado no es posible considerar modelos matemáticos complejos. Por otra parte, es discutible que sea realista siquiera tratar de plantear muchos de los problemas de manejo del agua con que se tropieza en la región dentro de un marco semejante; en realidad, tal formalismo podría tender a ocultar los efectos de las incertidumbres que surjan con el tiempo. Sin embargo, esto no descarta el uso de los modelos. La incorporación de las dimensiones ambientales al manejo del agua depende esencialmente de la adopción de una metodología que considere en forma amplia los sistemas naturales, económicos y sociales que interactúan a medida que surgen las consecuencias de una decisión sobre el uso del agua. Los modelos conceptuales pueden ayudar a plantear las cuestiones relativas al manejo, los objetivos sociales reales, las metas intermedias y los problemas claves que hay que resolver. Estos modelos pueden ser matemáticos o no matemáticos. En el caso de los primeros tal vez no siempre sea necesario cuantificar todas las variables. Es posible que el solo planteamiento riguroso del problema, que permite centrarse tanto en las variables naturales como en las sociales, económicas y de ingeniería, proporcione información útil.

La información inevitablemente será un factor limitativo de todo análisis destinado a ayudar a las personas encargadas del manejo del agua.<sup>100</sup> En la mayoría de los casos su recopilación es costosa y toma tiempo, y en los países de América Latina hay una gran demanda competitiva del escaso capital de desarrollo y una apremiante necesidad de inversiones que aumenten el bienestar social general. Sin embargo, con la aplicación más sistemática de una metodología se podría identificar los campos en que la falta de información sea crítica y de esta manera evitar la acumulación de datos innecesarios. Otra restricción será la falta, en los organismos públicos (de planificación, manejo y uso del agua) de funcionarios competentes para ensayar algunas técnicas con el fin de explorar la posibilidad de ampliar las opciones de manejo en la búsqueda de mayor flexibilidad. No hay lugar a dudas que estos factores que restringen la aplicación y la aplicabilidad de las técnicas podrían eliminarse por aproximación sucesiva. Con

<sup>100</sup> Véase O.C. Herfindahl, "National resources information for economic development", Johns Hopkins, Baltimore, 1969.

todo, el problema crucial es el marco institucional al cual se ajustan los objetivos del manejo del agua, la compilación de datos, la capacitación y motivación del personal y el uso efectivo de los resultados del análisis en las decisiones.

## Capítulo VI

### RECAPITULACION, RECOMENDACIONES Y OBSERVACIONES

Este capítulo, que concluye la primera parte del estudio, reúne los principales temas y conclusiones del mismo y añade algunas reflexiones. Los aspectos institucionales y analíticos de la incorporación de las dimensiones ambientales en el manejo del agua en América Latina ya han sido recogidas en los capítulos IV y V; en éste se procura destacar los resultados de carácter más amplio. Las generalizaciones que siguen exceden, en algunos casos, la información disponible y deben por lo tanto considerarse en el plano de las sugerencias y no de las conclusiones.

#### *1. El alcance y los propósitos*

El objetivo de este estudio ha sido investigar un variado conjunto de situaciones de manejo de los recursos hídricos con la esperanza de esclarecer aspectos relacionados con el uso del agua y el medio ambiente que preocupan cada vez más a los países latinoamericanos y a los organismos internacionales de asistencia. Por ejemplo, ¿qué perspectivas hay de predecir los posibles efectos ambientales y de incorporarlos al proceso de manejo del agua, con la consiguiente reducción de las posibles economías y deseconomías externas? ; ¿Cómo pueden los encargados del manejo del agua llegar a soluciones de transacción entre la preservación de la calidad del medio ambiente y las necesidades de corto plazo de aumentar y distribuir la producción material a través del uso más intensivo del agua? ¿Cómo pueden abordarse aspectos operacionales como la organización, la adopción y aplicación de normas ambientales, la mayor participación en el proceso de decisiones y la formación de personal?

Los nueve casos en que se basó el análisis de estos problemas se seleccionaron en gran medida por tener características propias que indicaban la preocupación por una u otra dimensión ambiental del manejo del agua y

de los recursos conexos, y porque podían ofrecer experiencias válidas aplicables a otras situaciones. No sólo reflejan condiciones físicas e institucionales muy diferentes sino también formas distintas de concebir los problemas. Si bien la muestra no es representativa en un sentido estadístico, ni del todo comprensiva, permitió sacar conclusiones sobre la aplicación, o aplicabilidad, de la tesis general de que, primero, en América Latina el manejo de los recursos hídricos puede mejorarse, y de hecho así está sucediendo, si se presta más atención a la calidad del medio ambiente; de lo contrario, las generaciones actuales y futuras tendrán que soportar un peso socioeconómico innecesario. En segundo lugar, los progresos en este campo resultarán probablemente, de la aplicación más sistemática de un enfoque interdisciplinario a los procesos iterativos de investigación, planificación, factibilidad y diseño de los proyectos y manejo del agua.

Como es natural, las generalizaciones en un campo tan complejo deben contemplar excepciones importantes. Si bien se cree haber llegado a conclusiones válidas, aunque de aplicabilidad parcial, cabe destacar también las limitaciones del estudio. Por razones prácticas, fue necesario restringir el alcance de éste al manejo de los recursos hídricos en la región. Así, pues, no se consideró la integración del manejo del agua en la planificación global, regional o nacional. El estudio se centró principalmente en los sistemas físicos, los conflictos provenientes del uso más intensivo del agua y de los recursos de tierras conexos, y las medidas adoptadas para resolver o evitar estos conflictos. Evidentemente todavía queda un campo muy amplio por abarcar el que sólo se ha abordado de manera superficial, que comprende aspectos tales como las repercusiones sociales más amplias de las manifestaciones de degradación del medio ambiente en los sistemas físicos, el proceso de decisión y el de comunicación entre los decisores y quienes se dedican a la investigación, valoración, evaluación y planificación de proyectos, sin mencionar los problemas macroeconómicos globales como la legislación ambiental y su aplicación, o la estructura de los servicios públicos que influye en la capacitación, contratación, retención y la utilización efectiva de profesionales capaces de plantear y analizar las dimensiones ambientales del manejo del agua.

Cabe destacar que la presión para actuar con respecto a la calidad del medio ambiente depende en gran medida de factores políticos. Es improbable que se realicen mayores cambios si los perjudicados por un deterioro de la calidad ambiental tienen poca representación política, mientras otros que son políticamente poderosos o se benefician con una determinada estrategia de manejo que afecta la calidad del medio ambiente, o bien no muestran interés en el tema. Acrecentar estas presiones políticas y formar opinión favorable al manejo de la calidad del medio ambiente es una tarea que cae en el ámbito de los cambios estructurales fundamentales y de la "toma de conciencia" el cual rebasa de los límites del presente estudio. En él se ha centrado la atención más bien en los instrumentos técnicos, económicos, legales e institucionales de que dispone actualmente el manejo del agua y en la forma en que tales instrumentos pueden utilizarse o modificar-

se a fin de incorporar gradualmente las cuestiones ambientales en los procesos de decisión.

## *2. El replanteamiento de las perspectivas*

Al realizarse la investigación, el tema del agua, el desarrollo y el medio ambiente provocó diversas reacciones entre las personas dedicadas a la investigación, la planificación y el manejo de los recursos hídricos en América Latina. Algunas autoridades estaban convencidas de que la predicción de las consecuencias ambientales no había influido mucho en la decisión de manejo original. Otras consideraron que el planteamiento es "conservacionista" y constituía un obstáculo frente a las necesidades reales del desarrollo. Otras, por fin, sostuvieron que "medio ambiente" no es sino un término que exagera la importancia de aspectos que un buen manejo del agua y de sus recursos conexos debe normalmente tener presente. Se reconoció abiertamente que tales aspectos no siempre se habían considerado. No obstante, se sostuvo que la situación especial creada por la introducción del término "medio ambiente" ha dado por resultado una hipertrofia de la idea que representa, lo que distorsiona el proceso de decisión. Estas opiniones revelan poca inclinación a que el manejo del agua tenga expresamente en cuenta la calidad del medio ambiente y a aceptar los nuevos enfoques de la planificación y operación de los sistemas hídricos que ello pueda suponer.

La preocupación principal por el medio ambiente generalmente se reflejó en instituciones no relacionadas directamente con el manejo y uso de los recursos hídricos, por ejemplo, oficinas de planificación, organismos nacionales de protección del medio ambiente, o instituciones públicas encargadas de la investigación o la vigilancia de la calidad del agua.

Frente a estas diferencias de opinión, parece útil replantear brevemente los principales conceptos subyacentes en el estudio, antes de reunir los temas y conclusiones más importantes.

### *a) El desarrollo y el medio ambiente*

En todos los niveles de desarrollo la sociedad obtiene del medio ambiente bienes y servicios los que combina con el trabajo y el capital en los procesos de producción, consumo e inversión. El efecto de la acción del hombre en su medio ambiente adopta dos formas: la primera es la obtención de materiales y servicios en competencia directa con otros miembros del ecosistema; y la segunda, la descarga de residuos. En cualquier situación concreta la relación entre la sociedad y el medio ambiente dependerá de las características socioeconómicas y culturales de la primera y de las características biofísicas del segundo. Sólo se puede generalizar hasta el punto de afirmar que el incremento del consumo total y de la productividad que va unido al mayor consumo por habitante trae consigo un aumen-

to de los posibles efectos negativos en el medio ambiente. En estas circunstancias, o se tolera el daño al medio ambiente o bien la sociedad debe estar dispuesta a renunciar al consumo sea extrayendo menos recursos del medio ambiente y descargando en él menos residuos o bien desviando recursos hacia la protección ambiental.

Por lo tanto, el tema clave es el manejo de la calidad del medio ambiente de manera de servir mejor a la sociedad. Hay dos metas —el aumento del consumo y la mayor preservación del medio ambiente— que a corto plazo tienden a entrar en pugna. A la larga, la preservación del medio ambiente debe ser compatible con los objetivos globales de consumo de la sociedad. Teóricamente, en el plano nacional debería haber consenso sobre los objetivos de producción y consumo totales, distribución espacial de la población y de la actividad económica, distribución del ingreso, empleo y distribución de los recursos entre generaciones con las consecuencias que ella entraña para la conservación de éstos. En la práctica, las metas rara vez son expresas y el interés gira en torno a la orientación de los cambios y a la elección de las medidas políticas, sociales y económicas que pueden aplicarse para acelerar esos cambios en el sentido deseado.

#### *b) El manejo del agua y sus dimensiones ambientales*

El permanente crecimiento de la población y de la actividad económica en América Latina ha elevado el número de sistemas hidráulicos que se utiliza a la vez que ha intensificado el uso de los que se aprovechan tradicionalmente. La mayor presión del hombre sobre el medio ambiente se manifiesta en obras de ingeniería cada vez mayores y más numerosas destinadas a derivar y regular las corrientes de agua, en niveles más altos de desechos materiales, —subproductos de la concentración urbana y de la producción industrial— y en cambios en el uso de la tierra, de los recursos forestales y de los recursos ictiológicos. Este incremento en el uso de los recursos hídricos y conexos probablemente seguirá teniendo un efecto considerable en el medio ambiente, tendencia que es poco posible que se invierta en un futuro cercano. En consecuencia una de las premisas básicas de este estudio es que la modificación de las relaciones entre el uso de los recursos hídricos, el desarrollo y el medio ambiente exige a su vez modificar los conceptos y métodos de planificación y manejo del agua. La cuestión fundamental consiste en cómo enfrentar el efecto cada vez mayor del aprovechamiento hídrico en el medio ambiente y las demandas aparentemente desenfrenadas de los complejos urbano-industriales en expansión.

Las metas nacionales y los instrumentos de política disponibles constituyen el marco de las restricciones a las cuales hay que ajustarse al planificar y administrar los recursos hídricos. Dada esta situación, la labor de los encargados de manejar los recursos hídricos consiste en buscar los medios para satisfacer las necesidades de una población creciente que aspira a elevar los niveles de consumo per cápita, sin ocasionar daños innecesarios al medio ambiente. Los aspectos que más les interesan son:

i) la eficiencia en la distribución de los recursos y la solución de los conflictos en el curso de este proceso, en que la eficiencia puede medirse por una o más relaciones que comparen el logro de los objetivos con los diversos costos económicos y sociales en que se ha incurrido;

ii) la evaluación del umbral de daño ambiental que resulta inaceptable para la sociedad, sean cuales fueren los beneficios de corto plazo que puedan obtenerse. En este caso, el manejo no sólo exige conocer las características hidráulicas, económicas y de ingeniería del uso del agua sino también el comportamiento de los sistemas sociales, institucionales y físicos dentro de los cuales se ha de aprovechar el agua.

### *3. Los temas centrales*

A través de todo el informe se repiten tres conclusiones que constituyen temas de importancia general para cualquier esfuerzo destinado a incorporar expresamente las consideraciones ambientales en el manejo del agua: la necesidad de una mayor integración de la planificación y el manejo, una visión más amplia de la naturaleza y magnitud del sistema por administrar y el incremento de la participación de los afectados en el proceso de decisión. A continuación, y antes de abordar conclusiones más concretas se examinan estos temas.

#### *a) La necesidad de integración*

El estudio de los casos revela que uno de los mayores inconvenientes para considerar expresamente la degradación ambiental ha sido la fragmentación de las decisiones sobre el uso de los recursos hídricos, tanto en función de sus límites geográficos como de los diversos usos. En la mayoría de los casos simplemente no existía un sistema de manejo del agua capaz de evaluar la naturaleza y grado de las relaciones entre el recurso y las medidas de aprovechamiento y los conflictos que surgen al intensificarse el uso.

En lo que respecta al aspecto geográfico, los organismos de manejo a menudo no tienen la jurisdicción necesaria para ejercitar la función de manejo; por ejemplo, en el río Bogotá la CAR carecía de atribuciones en el valle inferior. Es más, no existía un organismo de manejo y las decisiones eran adoptadas por los distintos usuarios del agua. Mientras la intensidad del uso no plantee conflictos, este es un criterio perfectamente viable. Sin embargo, en todos los casos había conflictos e incluso donde actualmente al parecer no los hay, la administración debería contemplar tal contingencia.

De esta manera, a menudo habrá que integrar horizontalmente a los usuarios del agua con los organismos de manejo a fin de adaptarse a la situación física de una cuenca hidrográfica, de una subcuenca o de otra unidad del manejo del agua y de poder coordinar las actividades y la

planificación en un esfuerzo por evitar conflictos o por resolverlos en forma sistemática. En los sistemas dominados por complejos urbanos la relación entre la eliminación de desechos urbanos y domésticos, las necesidades de suministro de agua, alcantarillado y desagüe, y la salud humana y el esparcimiento basado en el agua no han sido objeto de una atención sistemática por parte de los múltiples organismos involucrados; y ello sin contar los efectos perjudiciales causados a otros usos del agua, como el riego o la hidroelectricidad. En los sistemas dominados por obras de regulación de caudales a menudo se ha pasado por alto la estrecha relación existente entre el uso del agua y de la tierra. De esta manera, decisiones totalmente independientes sobre el uso de un recurso pueden tener efectos bastantes inesperados en el otro, sea aguas arriba o río abajo.

Aparte de la integración horizontal, es posible que también haya que integrar verticalmente a los organismos con las organizaciones y actividades de mayor jerarquía, como los órganos regionales o los que abarcan cuencas múltiples o las autoridades nacionales de los recursos hídricos.

Es fácil recomendar la integración, pero no así aplicarla. Los conflictos institucionales y los intereses creados son obstáculos importantes. La integración necesariamente debe ser un proceso gradual que sólo se irá desarrollando a medida que los diversos participantes reconozcan las desventajas de la fragmentación y las ventajas recíprocas de la colaboración. En este proceso hay dos factores que parecen decisivos —el mejoramiento del análisis de las cuestiones claves del manejo y mayor iniciativa de los beneficiarios y aumento de su participación en las situaciones específicas de manejo del agua en que la realidad de los conflictos y de la degradación ambiental se reconoce más rápidamente y la comunicación es más fácil que en las grandes burocracias centralizadas. Lo anterior introduce la segunda y tercera conclusiones básicas del estudio.

*b) Necesidad de tener una perspectiva más amplia de los problemas del manejo del agua*

El aspecto fundamental que debe destacarse aquí es que, como sucede prácticamente en todos los campos, las decisiones sobre el manejo del agua siempre se adoptarán con un conocimiento imperfecto —habrá incertidumbre acerca del comportamiento de algunos componentes del sistema y ocurrirán sucesos totalmente imprevistos que pueden tener efectos perjudiciales o favorables para la sociedad, si bien los que más preocuparán serán aquellos potencialmente adversos. Los problemas cruciales consisten en cómo identificar estos sucesos, cómo reducir el área de incertidumbre, y cómo podría organizarse el manejo de manera de estar en mejores condiciones para reaccionar frente a ella.

En algunos casos, las consecuencias o deseconomías externas inesperadas que han tomado la forma de efectos ambientales, pueden incorporarse a través de la simple ampliación de los límites físicos y funcionales del sistema por analizar, por ejemplo, las cuestiones relacionadas con la salud.

la estética y el esparcimiento en el caso de los complejos urbanos o la salinización, la acidificación de los suelos, la erosión y la sedimentación, en los casos de regulación de caudales. La ampliación de los límites funcionales entraña prestar más atención al comportamiento de algunos elementos del sistema, y a sus interacciones que tradicionalmente sólo han sido tratadas de manera superficial. La variedad de disciplinas y la información necesarias son infinitas. Tres campos que parecen justificar que se les conceda atención preferente son: las relaciones biofísicas entre la eliminación de desechos, la calidad del agua y el medio ambiente humano más amplio (considerando la salud, el esparcimiento y la incidencia de los costos y beneficios); las relaciones ecológicas en los sistemas naturales que influyen en las estructuras de regulación del agua o son afectadas por ellas, y las diversas tecnologías que puedan aumentar la eficiencia en el uso del agua. Habitualmente la compilación de informaciones demora mucho, y supone una elevada inversión de los escasos recursos de capital y de profesionales. Es esencial, por lo tanto, que la información responda a las necesidades de la planificación y el manejo. Además, los imperativos políticos suelen indicar que si hay que postergar una decisión de desarrollo para reunir mayores informaciones, deben presentarse pruebas muy categóricas de la existencia de riesgos potenciales acompañados de sus posibles costos. Dadas estas circunstancias parece que es indispensable adoptar una "visión amplia del sistema" para que:

- i) a la solución de los problemas del manejo del medio ambiente relacionados con el uso del agua contribuyan de manera efectiva y coordinada diversas disciplinas;
- ii) se identifiquen los vacíos de conocimientos cruciales; y
- iii) la acción se encauce a obtener información sobre los elementos que faltan a través de la vigilancia.

Como se señaló, los objetivos rara vez se especifican y si ello se hace es posible que no sean los objetivos reales y lo más probable es que varíen con el tiempo. Este último hecho, unido a la escasa información disponible en que debe basarse la acción y a la importancia que reviste la aplicación de criterios nuevos al plantear opciones de manejo que requieren el concurso de un mayor número de disciplinas, exige un diálogo entre los planificadores, administradores y equipos de investigación. Debido a la complejidad del tema, los encargados de la investigación y la evaluación deberían esforzarse por aprovechar la experiencia adquirida en los casos prácticos de manejo al identificar las cuestiones claves. Además, hay que buscar maneras de derribar las barreras que tradicionalmente se levantan entre las distintas disciplinas. El marco de intercambio entre las disciplinas y entre los investigadores, planificadores y administradores podría adoptar la forma de una representación simplificada del problema de manejo, sea una representación conceptual implícita o un modelo. Sin embargo, el intercambio efectivo y la acumulación sistemática de conocimientos debe basarse en modelos explícitos, sean éstos conceptuales o matemáticos. Teóricamente, los modelos formales deberían obligar a cierto grado de integración inter-

disciplinaria. No obstante, es posible que en el modelo rija una sola disciplina.

La incorporación de sistemas más amplios en el planteamiento y análisis de opciones de manejo no significa necesariamente tener que construir modelos grandes y complejos. Dadas las limitaciones de la información, la escasa experiencia en el análisis de sistemas y el hecho de que los decisores casi nunca han actuado sobre la base de modelos, podría sostenerse que existe el riesgo de que la aplicación prematura resulte más perjudicial que beneficiosa. Al mismo tiempo, hay razones para pensar que la escasez de datos es más aparente que real; se puede hacer mucho movilizándolo y organizando la información existente dentro del marco de un sistema y adoptando medidas para obtener información sobre los elementos que faltan a través de la vigilancia. El caso del Guri constituye un ejemplo muy útil de lo que puede hacerse con un mínimo de datos. Con todo, debido a la falta de experiencia es aconsejable tener cautela. El desafío consiste en perfeccionar la especificación de los problemas del manejo y en ampliar el enfoque relativamente estrecho que en general se ha aplicado en el aprovechamiento del agua.

*c) La necesidad de descentralización y de mayor participación local*

En vista de las grandes diferencias que presentan las cuencas hidrográficas —en su dotación de recursos (cantidad y variabilidad de caudales, tierras, etc.), en las modalidades de la actividad económica y en el potencial de desarrollo— cada cual tiene sus propios problemas de desarrollo. Salvo cuando se constata la presencia de sustancias tóxicas, las normas sobre calidad del agua no deberían aplicarse de manera uniforme sino depender de los conflictos reales y probables que existen en cada caso. Cuando la regulación de caudales es la principal modificación del sistema, a menudo la población rural local es la más beneficiada (por ejemplo, riego, prevención de crecidas y avenamiento). Aun en el caso de la producción de hidroelectricidad, las actividades de algunos segmentos de la población rural pueden afectar o verse profundamente afectadas por el proyecto. Asimismo, con respecto a la calidad del agua, las comunidades situadas río abajo se preocuparán principalmente de la descarga de residuos por las comunidades o industrias ubicadas aguas arriba. Incluso en el caso de los grandes centros metropolitanos en que los “efectos aguas abajo” los perciben sectores de las mismas poblaciones metropolitanas, también hay necesidad de consultar locales para resolver los conflictos.

Por lo tanto, todo conjunto de normas relacionadas con el uso del agua y de los recursos conexos y con la infraestructura destinada a la derivación o control de caudales debe adaptarse a las condiciones de cada localidad. Evidentemente, en el caso de las grandes plantas hidroeléctricas las necesidades nacionales prevalecen sobre las de la población local; pero en todas las demás modificaciones de los sistemas hidrológicos los programas deben vincularse a las necesidades de la población urbana y rural local. Para

lograrlo, hay que asignar bastante responsabilidad a las autoridades locales u oficinas regionales de los ministerios nacionales.

Debido a que la esencia de la degradación ambiental es en gran parte reflejo de los conflictos por el uso del agua (y de los recursos de tierra conexos) que surgen entre grupos locales, o entre los intereses nacionales y los grupos locales, y debido a la naturaleza extremadamente subjetiva de la calidad ambiental es importante buscar mecanismos que permitan que los grupos que se benefician o perjudican como consecuencia del mayor uso del agua tengan mayor participación en las decisiones.

Si bien la descentralización debería permitir una mejor coordinación de los organismos públicos, en sí ella no garantiza una mayor participación local en las decisiones. Es posible que continúen dominando las vinculaciones con las autoridades centrales e incluso que algunos pequeños grupos de presión locales se fortalezcan al punto de excluir a otros.

La trayectoria de la descentralización en América Latina ha sido irregular y rara vez se ha emprendido y mantenido con dedicación. En el mejor de los casos ha sido un proceso gradual, o no ha sido fácil obtener una verdadera participación de los grupos de intereses locales. Los cambios han respondido a innovaciones exitosas como en el caso de la Corporación del Valle del Cauca, en Colombia o la experiencia de la CECA y FEEMA en el manejo del medio ambiente en el Estado de Río de Janeiro.

De esta breve recapitulación de los temas centrales se pasará a las observaciones finales sobre la incorporación de la dimensión ambiental en el manejo del agua, sobre el personal y sobre el papel que podría corresponder a la colaboración internacional.

#### *4. Fortalecimiento del proceso de manejo del agua con vistas a incorporar la dimensión ambiental*

El mejoramiento del manejo de los recursos hídricos debe descansar en una planificación mejorada a través de todo el proceso desde el planteamiento del problema, de los objetivos y de las acciones posibles y la evaluación, selección e integración de las acciones en un programa unificado hasta la vigilancia y evaluación del desempeño con realimentación al manejo.

La planificación puede emprenderse en diversos planos. En el plano macroeconómico las normas de protección ambiental deben fijarse dentro del marco de la planificación del desarrollo nacional. En el caso de los recursos hídricos es manifiesta la necesidad de establecer un procedimiento para concebir los grandes conjuntos de cuerpos de agua como regiones, sean éstas de ámbito intranacional o internacional. Las grandes transferencias de agua entre cuencas, y la localización y concentración de la actividad económica tienen consecuencias para la intensificación del uso del agua y la exclusión de opciones resultante, que sólo pueden apreciarse mediante un enfoque integral del sistema. Los casos estudiados no dejan en claro la forma en que habría que organizar la planificación y el manejo, sea a través

de ministerios nacionales dotados de amplias facultades para fijar y hacer cumplir normas de protección del medio ambiente, como el MARNR en Venezuela, o de ministerios nacionales de los recursos hídricos como el SRH en México, de las comisiones descentralizadas de cuencas hidrográficas como la CVG en Colombia, de las comisiones interministeriales o de los grupos especializados de las oficinas nacionales de planificación. Sea cual fuere la estructura institucional más apropiada en un país determinado, la tarea de evaluar las relaciones que existen entre el aprovechamiento de los recursos hídricos y el medio ambiente dentro de amplios marcos físicos y socioeconómicos bien definidos, reviste importancia decisiva.

La planificación en todos los planos debe tener más expresamente en cuenta los elementos de incertidumbre y el riesgo, que en el pasado han dado lugar a deseconomías externas o repercusiones ambientales. Cuando la fuente de incertidumbre es la variabilidad estocástica de procesos, como las crecidas, se pueden establecer las probabilidades y estimar el grado de riesgo. En cambio, cuando la incertidumbre se origina en el conocimiento inadecuado de las relaciones funcionales de los procesos naturales o sociales se está esencialmente ante una incógnita. Un mayor conocimiento de las relaciones ecológicas que influyen en los efectos en cadena, en la elasticidad (*resilience*) y en el desarrollo de situaciones irreversibles en los sistemas naturales hídricos y conexos debería permitir mejorar la predicción y, por lo tanto, contribuir a reducir el área de incertidumbre. No obstante, la compilación de datos es costosa y demora: las decisiones siempre se adoptarán sobre la base de información imperfecta y siempre existirán fenómenos desconocidos a los cuales no puede aplicarse el cálculo de probabilidades. Ante esta circunstancia, podrían utilizarse dos métodos para identificar de manera sistemática las actividades que pueden aumentar o reducir la exclusión de opciones. El primero, es la construcción de modelos de sistemas, como el modelo de simulación del sistema del Guri o los modelos de dispersión de la contaminación, como los elaborados para la Bahía de Guanabara o el río Bogotá. En forma separada y combinados con la evaluación de proyectos éstos permiten investigar las opciones de manejo y realizar análisis de sensibilidad para identificar algunos de los vacíos críticos de información. El segundo método es el desarrollo por etapas, como el que se aplicó en Caño Mánamo y La Chontalpa, en que se usaron proyectos experimentales para obtener nueva información sobre el comportamiento de los sistemas, si bien la experiencia indica que los organismos de desarrollo a menudo son demasiado optimistas respecto de sus conocimientos previos y su capacidad de reaccionar frente a informaciones nuevas. A veces puede ser conveniente realizar proyectos experimentales en una escala mucho más reducida.

En América Latina hay grandes sistemas hídricos, principalmente en el trópico húmedo, donde se puede realizar una amplia exploración de las posibilidades de aprovechamiento y de sus posibles consecuencias ambientales. Con todo, un tema de importancia aún más decisiva es el análisis de las diversas opciones de manejo encaminadas a mejorar la degradación

ambiental real o potencial de los sistemas de agua, en los casos en que las opciones están limitadas por decisiones ya adoptadas sobre el uso del recurso o la construcción. Corresponden a esta categoría todos los sistemas regidos por complejos urbanos. Además, no se puede volver atrás en planes para construir docenas de grandes presas hidroeléctricas en los próximos dos o tres decenios. Las experiencias como la del proyecto de Salto Grande, en que los estudios del medio ambiente se realizaron conjuntamente con la construcción, son muy ilustrativas al respecto.

En la actualidad muchas instituciones de la región no están capacitadas orgánicamente para adoptar una visión amplia del aprovechamiento del agua ni para contemplar la vigilancia de las actividades en marcha. Es inevitable que aparezcan nuevas instituciones, como ha sucedido en Brasil en los últimos años. Entretanto, es necesario prestar más atención al conocimiento de las estructuras de organización existentes, a la composición del personal, a la fuente de ideas nuevas y al mecanismo que permita incorporarlas en las decisiones de política y manejo, y a las limitaciones que presenta la coordinación o descentralización interinstitucional. Uno de los problemas básicos que se plantea es cómo generar en los organismos de manejo del agua una demanda de profesionales que estén capacitados para plantear y analizar los problemas de manejo de los recursos hídricos que están surgiendo en América Latina; además, en el caso de que se creara tal demanda, habría que considerar el problema conexo de dónde conseguir profesionales que puedan percibir los elementos sociales, económicos, culturales y políticos, y las limitaciones en la información que condicionarán el diálogo entre los investigadores, los planificadores y los decisores en el planteamiento de los problemas ambientales, su análisis y su incorporación en los programas de administración de los recursos.

#### *5. Las repercusiones en el personal y su capacitación*

En el presente estudio se abordaron específicamente los aspectos relacionados con la cantidad y calidad de la mano de obra que se necesita para prestar más atención a las dimensiones ambientales en el manejo del agua en América Latina. Sin embargo, la experiencia recogida de los casos examinados ofrece una base para hacer algunas reflexiones sobre la materia.

Al considerar un cambio cualitativo en el personal de las instituciones de planificación, manejo o de usuarios del agua se suscita una serie de interrogantes: ¿qué clase de profesionales habría que contratar y cómo se debería utilizarlos para plantear y analizar los problemas ambientales? Suponiendo que se conoce la respuesta a estas preguntas ¿estarían dispuestas las instituciones a contratar esta clase de profesionales? ; ¿qué expectativas hay de ofrecer remuneraciones y oportunidades profesionales suficientes como para atraer y retener profesionales de la calidad requerida? ; ¿están disponibles dichos profesionales y, de lo contrario, qué tipo de capacitación y de perfeccionamiento del personal sería más adecuado? Las

respuestas a estas preguntas dependen ante todo de la estructura del manejo del agua y de la competencia, temple y visión de sus autoridades. Ya que en la mayoría de los países los sistemas de manejo no están actualmente en situación de considerar o de abordar los problemas ambientales, se podría preguntar por qué un organismo habría de tomar la iniciativa de interesarse en contratar profesionales para examinar una serie de componentes del sistema que tradicionalmente se han soslayado. La respuesta depende en parte de consideraciones similares a las ya analizadas, como la voluntad política y la planificación y política nacionales. Sin embargo, para tomar cualquier medida destinada a incorporar aspectos ambientales más amplios en las decisiones sobre uso del agua mediante la modificación e integración de funciones institucionales, la presencia en los organismos correspondientes de un núcleo mínimo de personal capaz de aplicar el enfoque propuesto constituye un requisito previo. Además, no está del todo claro que la iniciativa de plantear nuevos enfoques radique exclusivamente en las máximas autoridades. Puede postularse que las ideas que surgen en las categorías profesionales pueden llegar hasta la administración. La comprobación de tal hipótesis tendría importantes consecuencias para la capacitación.

Un aspecto clave lo constituyen las particularidades de los sistemas de personal de cada organismo y las estructuras salariales y sistemas de ascenso de la administración pública. De todos los casos examinados, siete eran manejados por organismos nacionales y dos por organismos estatales. Varios organismos especializados —la Comisión del Grijalva, la CVG, la FEEMA y la CETESB— gozan de especial autonomía y ofrecen oportunidades profesionales y remuneraciones mucho más atractivas que las actividades regidas por normas de administración pública impuestas a los ministerios de agricultura, obras públicas, salud e industria y comercio, vinculadas también, en diversa medida, a los casos estudiados. En casi todos los servicios públicos, las normas de promoción vertical atentan contra la descentralización de las decisiones y de las iniciativas. Como los puestos de mayor categoría están generalmente en la capital, los funcionarios emprendedores que trabajan en el terreno aspiran al traslado. Existe el inconveniente de que la promoción de funcionarios locales competentes sin el correspondiente traslado exige automáticamente que se les dé mayor autoridad y responsabilidad, las cuales tendrían que restarse a la oficina principal. En los casos de la Comisión del Grijalva y de la CVG, en cambio, personas altamente calificadas han seguido trabajando en el terreno, y el avance profesional del personal no se ve perjudicado en modo alguno por el hecho de trabajar en un plano local. Además, se ofrecen incentivos financieros para compensar la diferencia en las condiciones de vida. Una situación análoga existe en algunas instituciones brasileñas.

Introducir innovaciones importantes en el sistema del servicio público de cualquier país es tarea extremadamente difícil. Por razones prácticas, parecería que cualquier modificación destinada a implantar un enfoque más creativo en la planificación y manejo del agua deberá realizarse dentro de las normas vigentes para el personal.

Es difícil calcular la falta de personal calificado en cada país. A diferencia de la agricultura, el agua no es un sector en el cual pueda seguirse una secuencia completa de capacitación del personal a través de todos los niveles de la educación sistemática y no sistemática vinculada a la investigación y a la extensión. En tal situación se podría concebir una estructura unificada de desarrollo del personal.<sup>101</sup> Podría recomendarse que los establecimientos de educación media y las universidades ofrezcan más cursos de ecología, antropología, análisis de sistemas, etc.; sin embargo, saber si las personas así capacitadas terminarían por incorporarse al manejo del agua es un problema completamente distinto. Además, el sistema educativo de un país debe considerar una amplia gama de elementos al establecer sus prioridades junto a aquellos vinculados al manejo del agua.

Debido a esta situación, resulta improcedente una evaluación rigurosa de las necesidades de capacitación para el manejo del agua. Los problemas centrales se refieren al tipo de preparación universitaria más apropiado para formar profesionales en el campo del manejo de los recursos en general u ofrecer a éste apoyo técnico especializado y, en particular, al tipo de formación en el empleo que podría ofrecerse al personal tanto técnico como administrativo de las instituciones de planificación y manejo del agua. En cuanto a la formación universitaria, cualquier recomendación debería basarse en una cuidadosa revisión de los programas universitarios latinoamericanos en lo que respecta a todas las disciplinas vinculadas al manejo de la calidad del medio ambiente. Existen en la región varias instituciones que ofrecen cursos especializados sobre el medio ambiente, como la Universidad Javeriana de Colombia, el Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierra (CIDIAT) de Venezuela y la Universidad Metropolitana de México. En otros lugares, el campo del manejo de los recursos generalmente compete a los departamentos de ecología y economía agraria (economía de recursos). Si se tiene en cuenta que este campo es vasto y que los buenos programas universitarios de docencia e investigación (en cualquier campo) son escasos en la región, podría pensarse en promover un solo centro de excelencia en cada país, el cual proporcionaría el complemento interdisciplinario al campo de la especialización. Incluso se podría considerar una especialización internacional de postgrado. Además, está el problema de la demanda y de la disponibilidad de destrezas científicas de apoyo —como las referidas a los aspectos físicos y químicos de la contaminación del agua, la limnología, los suelos o la ingeniería sanitaria.

La formación en el empleo es menos compleja. En cada país, su clientela se identifica con facilidad. A diferencia de un programa universitario, la formación en el empleo puede establecerse y organizarse para capacitar un

<sup>101</sup> Para un estudio de casos de las necesidades de mano de obra de los servicios hídricos en el Perú, véase N.S. Carefoot, "Balance in training for Latin American water and wastewater utilities", *American Water Works Association Journal*, diciembre de 1977, pp. 641-643.

gran número de alumnos en un tiempo relativamente corto, y puede reducirse o desmontarse sin mayores alteraciones una vez atendida la demanda máxima. De antemano puede propugnarse la creación de dicha actividad tanto en el plano nacional como en el internacional.

#### *6. El papel de la cooperación internacional*

Al considerar el intercambio internacional relacionado con el manejo de los recursos se plantea el problema de si los sistemas de análisis y de planificación, y los procedimientos de diseño de ingeniería o de manejo pueden (o deben) ser:

i) transferidos de otros países (de la región o de fuera) y aplicados directamente;

ii) transferidos y adaptados antes de su aplicación; o bien,

iii) desarrollados totalmente dentro del país o de la región. El papel de la cooperación internacional debe basarse en la premisa de que las técnicas pueden ser transferidas o adaptadas. Aunque puede ser necesario desarrollar tecnologías autóctonas, no puede negarse la utilidad de aprovechar gran parte de la experiencia de países dentro y fuera de la región en manejo del agua e incorporación de aspectos ambientales.

En América Latina, algunas instituciones han acumulado mucha experiencia y conocimientos especializados que serían de gran valor para ampliar y fortalecer el enfoque que se aplica al manejo del agua en la región. Para referirse solamente a los casos estudiados en esta investigación, puede señalarse que la FEEMA y la CETESB han desarrollado una capacidad de análisis del problema de la calidad del agua. Ellas ofrecen interesantes modelos de transferencia y adaptación de tecnologías foráneas y de formación de un equipo altamente calificado, capaz de modificar o de idear tecnologías para responder a situaciones locales en que los valores culturales, la estructura institucional, los objetivos políticos y la disponibilidad de información son muy diferentes a los de los países de origen de esas tecnologías. La CVG, con el apoyo de varias instituciones académicas venezolanas (el Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC) y la Universidad Central Venezolana), ha producido amplia información acerca del manejo de cuencas hidrográficas y de los problemas del manejo de suelos ácidos sulfatados con avenamiento. Un conocimiento similar sobre el manejo del agua y sus efectos ambientales han reunido la CAR y la Corporación del Valle del Cauca, la Comisión del Grijalva y la Dirección de Aguas en el Perú.

Hay además un gran número de organismos internacionales que realizan actividades en este campo: la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) en riego, silvicultura, ciencias forestales, pesquerías en aguas interiores y erosión de los suelos en zonas agrícolas; la Organización Meteorológica Mundial (OMM) en precipitaciones y

control meteorológico; la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) en hidrología y en el Programa sobre el Hombre y la Biosfera; la Organización Mundial de la Salud (OMS) en calidad del agua y salud; el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) en las consecuencias ambientales de las variaciones en la cantidad (caudales) y calidad del agua; el CIDIAT en capacitación en el manejo del agua y de la tierra; y la Organización de los Estados Americanos (OEA) en el desarrollo regional y de los recursos naturales. Se han realizado estudios de varias cuencas hidrográficas, financiados por gobiernos nacionales, por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) o por la OEA. Sin embargo, se ha avanzado poco en el propósito de conseguir que dichos estudios tengan un efecto acumulativo sobre la investigación, la planificación, la evaluación de proyectos, la formación en el empleo, y la capacitación universitaria, y de que lleven a la formación de un equipo de profesionales capaces de detectar los problemas del manejo de los recursos (especialmente los que entraña el manejo del medio ambiente biológico) y de realizar investigación y evaluación permanente de la acción como base para mejorar las decisiones sobre desarrollo.

Existe manifiesta necesidad de institucionalizar y de difundir el conocimiento existente. Las organizaciones multilaterales y bilaterales se encuentran en situación privilegiada para emprender actividades útiles sobre una base multinacional, lo que no puede hacer por su cuenta cada país en particular. Esta labor abarcaría la investigación comparada, la compilación y distribución de información, ciertos tipos avanzados de capacitación y seminarios o talleres para personas de diversos países con problemas comunes.

La posibilidad de crear un foro para el intercambio de ideas y experiencia entre quienes se dedican a la investigación, la planificación y el manejo de los recursos hídricos latinoamericanos, lleva a propiciar la realización de proyectos experimentales, que serían uno de los campos más promisorios de cooperación internacional. Hasta ahora, los proyectos de esta clase, aplicados al inventario de recursos, a la colonización, la educación, etc., se han realizado en el supuesto de que se afianzarían y se transformarían en las bases de programas nacionales. En muchos casos ello no ha sucedido, por diversas razones, entre las que cabe señalar la falta tanto de una evaluación previa de su viabilidad a largo plazo como de un compromiso político permanente. A la luz de esta experiencia, parecería que los proyectos experimentales relacionados con el manejo de los recursos hídricos deberían derivarse de actividades nacionales ya en marcha que cuenten con impulso y la garantía de un fuerte respaldo. En estas circunstancias podrían iniciarse proyectos para concebir, ensayar y vigilar sistemas de manejo que tengan en cuenta los aspectos ambientales.

El eje de todo programa de cooperación internacional debe ser el desarrollo en cada país de recursos humanos capaces de plantear y evaluar los problemas de manejo del agua, y de determinar cuándo y cómo se deben

transferir, adaptar o idear técnicas apropiadas para esa tarea. Al abordar los aspectos operacionales del problema, deben plantearse dos preguntas:

i) ¿cuáles son las ventajas de crear instituciones internacionales de capacitación especializada en el manejo de los recursos hídricos y de la calidad ambiental comparadas con las que reportaría el desarrollo de una capacidad similar en un número reducido de instituciones nacionales? ;

ii) ¿qué criterios podrían utilizarse para elegir entre los postulantes a la capacitación: su capacidad y experiencia profesionales, o las necesidades relativas de sus países de origen? Ninguna de estas dos preguntas es fácil de responder. La mejor forma de salir del paso consiste en decir que en i) deben desarrollarse paralelamente ambos tipos de capacitación y que en ii) deben haber dos vías, una avanzada abierta a todos los países y otra, menos avanzada, abierta solamente a los candidatos cuyos países de origen presentan grave escasez de personal capacitado en planificación y manejo del agua.

Parece muy recomendable desarrollar algunos programas interdisciplinarios de postgrado a muy alto nivel acerca del manejo de los recursos en la región, aunque no es probable que más de uno o dos de ellos se especialicen en el agua. Al mismo tiempo, es prácticamente indudable la necesidad de cursos interdisciplinarios de formación en el empleo, basados en un enfoque de sistemas, y de un curso centrado en el estudio de un caso o en un taller sobre un proyecto experimental. Los cursos podrían durar de uno a cinco meses, con unos quince o treinta participantes. En ambos casos su realización depende: en primer lugar, de la disponibilidad de fondos para contratar los servicios de un equipo interdisciplinario compuesto de cuatro a seis profesionales que no sólo deberían enseñar sino también investigar; en segundo lugar, del financiamiento de becas que hicieran posible la participación de personas de toda la región (en el supuesto de que sería contraproducente —y probablemente irrealizable desde el punto de vista financiero y técnico— emprender en esta etapa actividades de capacitación en cada país); y en tercer lugar, de la disponibilidad de estudios de casos o de proyectos experimentales en que estén en marcha casos de aprovechamiento y manejo de los recursos hídricos, los cuales servirían de base para la investigación, la evaluación y los talleres.

Sería muy conveniente establecer una red regional que se base en un número limitado de proyectos experimentales y que haga posible la capacitación, la investigación, la evaluación y el intercambio de experiencias entre las personas que tienen la responsabilidad del manejo, de la planificación y de la investigación de los recursos hídricos. Este es un objetivo de colaboración internacional que debe cumplirse por etapas.

## 7. Asuntos pendientes

La conclusión fundamental de este estudio es que deben cambiar los criterios de manejo de los recursos hídricos en América Latina. Esto exige replantear la manera de enfrentarse a los sistemas naturales y sociales, a fin de evitar el innecesario deterioro del medio ambiente y las deficiencias en la acción económica que se manifiestan a través de toda la región. Sin esta reorientación, es probable que aumente exponencialmente el efecto negativo ambiental por la mayor presión sobre los recursos hídricos debido al crecimiento demográfico y de las necesidades de desarrollo. Debe prestarse más atención a la especificación de los objetivos económicos y sociales y a la necesidad de mantener la productividad de largo plazo de los ecosistemas naturales. Lo anterior implica mayor conocimiento de los problemas claves del funcionamiento o comportamiento de los sistemas físicos, sociales e institucionales y de sus interrelaciones, de los que dependen:

i) la naturaleza de los conflictos y los efectos ambientales de la intensificación del uso del agua;

ii) el planteamiento y ejecución de acciones que pueden reducir estos conflictos y el daño al medio ambiente.

Las modificaciones no se producirán con facilidad. La organización, la composición del personal y la capacidad de coordinación entre organismos deben ser adaptadas. Las autoridades de manejo necesitan convencerse de que los cambios tendrán utilidad práctica. Pero antes de que esto suceda, deberán plantearse muchas preguntas que aún permanecen sin respuesta. Se ha dicho poco acerca de los aspectos legales, institucionales y políticos de añadir una dimensión ambiental a la planificación del manejo del agua en la región. Estos son problemas complejos y delicados. ¿De dónde provienen los lineamientos para la formulación de las decisiones de política y manejo del agua, y cómo se transmiten? ; ¿cómo podría ampliarse la participación en el proceso? ; ¿dónde surgen las nuevas ideas, y cuál es su mecanismo de incorporación a las decisiones de los organismos de manejo del agua? ; ¿qué pasos habría que dar para buscar nuevos medios de alcanzar la coordinación o la descentralización institucional? Además, y en relación con estos aspectos institucionales, están las cuestiones relativas a las técnicas analíticas y a la disponibilidad de información fidedigna que dé origen a proyecciones convincentes de las probabilidades de los diversos resultados de distintos cursos de acción. Es necesario volver a evaluar las relaciones entre beneficios y costos y las matrices de efectos ambientales, como base para las decisiones. ¿Cómo se identifican las cuestiones ecológicas, sociales y económicas claves dentro del vasto conjunto de variables que afectan las decisiones sobre el manejo de los recursos a largo plazo?

Además de los aspectos institucionales, técnicos y de información se debe investigar más a fondo el tema de cómo crear en los organismos de manejo del agua una demanda de profesionales capaces de formular y

analizar las cuestiones ambientales, y cómo atender tal demanda. ¿Cuál es la capacidad actual de las universidades o de los institutos de capacitación de la región para ofrecer cursos especializados e interdisciplinarios, sean éstos cursos breves de formación en el empleo, de pregrado o de postgrado? ; ¿debería haber división y especialización entre tales instituciones? ; ¿cuál debería ser el contenido de los cursos y cuáles las áreas prioritarias de especialización y los cursos ofrecidos? Al abordar estos diversos temas, que están vinculados entre sí, parece haber buenas razones para considerar seriamente un criterio que vincule la investigación, la capacitación y la evaluación interdisciplinarias con proyectos específicos de aprovechamiento del agua o con casos de manejo que ya están en marcha en varios países. Esto ofrecería una oportunidad para ensayar hipótesis sobre nuevos criterios, afinar la metodología y evaluar mejor el tipo de capacitación necesaria. En síntesis, la mejor manera de avanzar en el conocimiento de la naturaleza de los problemas la proporcionarán la investigación acuciosa, la evaluación, la vigilancia, el replanteamiento del manejo que pueda seguir por un período relativamente prolongado un programa (o programas) específico de manejo del agua.

**Segunda Parte**

**ESTUDIOS DE CASOS DE MANEJO DE LOS  
RECURSOS HIDRICOS**

Las opiniones expresadas en estos estudios de casos son de la exclusiva responsabilidad de los respectivos autores y no coinciden necesariamente con las de las Naciones Unidas.

## INTRODUCCION

Los casos de manejo de los recursos hídricos analizados se clasificaron atendiendo a dos características dominantes de los sistemas hídricos: su utilización por complejos urbanos o a través de obras de regulación de caudales. Antes de presentar los casos en los capítulos VII a XV quizá sea útil ofrecer al lector una visión general de las demás características comunes o particulares que ellos presentan.

Los cuatro casos de aprovechamiento urbano muestran diferencias apreciables tanto en lo que respecta a la situación física como al enfoque dado a su estudio. En el caso del río Maipo se estudian opciones de ingeniería para el suministro de agua a Santiago, importante centro metropolitano en crecimiento, para el tratamiento de las aguas servidas y para la ampliación del riego en una zona semiárida en que la disponibilidad de agua se está convirtiendo en el factor limitativo del desarrollo. El estudio sobre la Bahía de Guanabara se centra en la aplicación de modelos de calidad del agua para resolver un problema parcial de manejo en un estuario, es decir, el control de la calidad del agua en diversas zonas de la bahía mediante esquemas de puntos de descarga y descarga en la misma. El estudio del río Bogotá trata del manejo de la calidad del agua en una región húmeda en que el régimen del río es muy variable. La creciente descarga doméstica e industrial de Bogotá es el principal problema que enfrenta el manejo al cual preocupan de manera especial las crecidas y, en relación con ellas, la salud humana, el uso de la tierra, y el uso de las aguas río abajo para el riego complementario, el abastecimiento urbano y la producción de energía eléctrica. En el estudio se emplean la hidrología y los modelos de calidad del agua como base para el análisis de costo-beneficio de diversas opciones de tratamiento de las descargas urbanas. São Paulo ilustra un caso en que la contaminación urbano-industrial del sistema hídrico ha alcanzado niveles elevados. El estudio presenta un modelo para encarar las consecuencias que tienen para la salud, el esparcimiento basado en el agua y el placer estético de la población urbana, los diversos niveles de contaminación del sistema hídrico.

Si bien la calidad del agua es la preocupación dominante en los casos de los complejos urbanos, este problema también comienza a tener importancia en tres de los casos de regulación de caudales — San Lorenzo, La Chontalpa y el río Aconcagua.

Los cinco casos de regulación de las aguas revelan aún mayor heterogeneidad que los casos de complejos urbanos. Las principales características que distinguen el caso del Guri son, en primer lugar, el hecho de que el manejo de los recursos se relacionara con una zona boscosa tropical húmeda que se encontraba prácticamente deshabitada antes de la construcción del proyecto hidroeléctrico y, en segundo lugar, la aplicación de un modelo de simulación ecológica al problema del uso de la tierra en la cuenca hidrográfica y su vinculación al régimen de caudales y la sedimentación del embalse. En el caso del San Lorenzo se evalúan las relaciones entre el suelo, el agua y la vegetación en el proceso de salinización provocado por el riego y la colonización en un ecosistema desértico. Aunque en un ambiente físico totalmente diferente, esto es un delta tropical húmedo, el caso de Caño Mánamo se asemeja mucho al del San Lorenzo. Representa una evaluación de los efectos ambientales internos (la formación de suelos sulfatados ácidos) y externos (la intrusión de salinidad aguas abajo y las crecidas) de un programa de control de crecidas, avenamiento y colonización. La Chontalpa es un programa similar llevado a cabo en una zona climática del mismo tipo, pero el enfoque que se le ha dado es diferente puesto que investiga las interacciones institucionales, sociales, económicas y biológicas que acompañaron al proceso de habilitación de tierras y de asentamiento. El análisis del caso del río Aconcagua se basa en una serie de estudios emprendidos simultáneamente con la presente investigación<sup>102</sup> y en dos cursos que utilizaron la región como tema de taller<sup>103</sup>. Se inició después de los correspondientes a los ocho casos antes mencionados de suerte que, en cierta medida, se basa en su experiencia al mismo tiempo que difiere de ellos porque se centra casi exclusivamente en la metodología. También contrasta con los otros cuatro casos de regulación de caudales en el sentido de que refleja intensificación del uso del agua en una zona ya densamente poblada, muy desarrollada y con limitada disponibilidad de agua.

<sup>102</sup> Véase Poblete y otros, *op. cit.*; Instituto de Recursos Naturales (IREN), informe inédito preparado para SERPLAC, Santiago, 1977, y Habitat S.A. Consultores, informe inédito elaborado para la Dirección de Planeamiento, Ministerio de Obras Públicas de Chile, Santiago, 1977.

<sup>103</sup> La Gestión y Administración de los Asentamientos Humanos frente al Impacto de las Empresas sobre el Medio Ambiente, curso regional, 5 al 17 de septiembre de 1977, Santiago de Chile, organizado por FLACSO, Universidad Católica de Chile (CIDU) y el Gobierno de Chile, con el apoyo del PNUMA y de la UNESCO; y Curso sobre Aspectos Ambientales del Manejo de los Recursos Hidráulicos, Santiago de Chile, 29 de agosto al 30 de septiembre de 1977, organizado por CIFCA, ILPES y la CEPAL con el apoyo del PNUMA. Este último curso formó parte del proyecto ADEMA. (Véase el anexo A.)

Los casos del Guri, La Chontalpa, Caño Mánamo, Bahía de Guanabara y San Lorenzo corresponden a proyectos de uso del agua. Por lo tanto su enfoque es más limitado que el de los casos del río Maipo, de São Paulo y de los ríos Bogotá y Aconcagua, que reflejan situaciones más complejas de manejo de los recursos hídricos.

Desde el punto de vista analítico, los casos de la Bahía de Guanabara, del Guri, de São Paulo y del río Bogotá ilustran la aplicación de métodos cuantitativos al análisis de algunas relaciones de causa a efecto en el deterioro que ha experimentado o que puede experimentar el medio ambiente. Los cinco casos restantes centran la atención primordialmente en la investigación de una amplia gama de aspectos que han caracterizado los cambios en el uso del agua y de los recursos conexos, y las posteriores manifestaciones de daño ambiental.

## Capítulo VII

### MODIFICACION DE UN AMBIENTE DESERTICO MEDIANTE EL RIEGO: EL PROYECTO SAN LORENZO, PERU<sup>104</sup>

Arturo Cornejo T., Humberto Yap S., Carlos López Ocaña,  
Antonio Brack E. y Wilmer Iglesias.

#### 1. *Descripción general*

La región de la costa peruana es extremadamente árida y el agua constituye un factor limitativo no sólo de la agricultura sino de toda actividad vinculada al desarrollo. El clima de la costa se presta admirablemente para el cultivo de una gran variedad de especies tropicales y semitropicales, y, asegurada la dotación de riego, se obtienen buenos rendimientos medios de los cultivos principales, como la caña de azúcar (140 tm/ha), el arroz (4.0 tm/ha), el maíz (3.5 tm/ha) y el algodón (1.5 tm/ha). Por esta razón, y dado que en esta zona existe una mejor infraestructura de transporte, comunicación y comercialización, en comparación con las otras dos regiones del Perú —la sierra y la selva— la agricultura de mayor valor comercial del país está concentrada en los valles regados de la costa, que abarcan en la actualidad una superficie de 800 000 hectáreas.

Los ríos de la costa peruana constituyen la principal fuente de agua de la región. Estos ríos que son torrenciales y de régimen de escurrimiento irregular, son alimentados por las precipitaciones y deshielos que se producen en la parte occidental de la cordillera de los Andes.

Durante el período de las avenidas, comprendido entre enero a abril, que coincide con las lluvias en la sierra, los ríos descargan el 75% de la

<sup>104</sup> Este capítulo es un resumen del estudio preparado para CEPAL/PNUMA por los autores como parte del proyecto ADEMA, "Modificación de un ambiente desértico por la irrigación: Proyecto San Lorenzo", Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú, junio de 1976.

masa anual media de agua, la mayor parte de la cual se vierte al océano. El 250/o restante se descarga en 260 días y en el período crítico de estiaje, comprendido entre junio y diciembre, la mitad de los 52 ríos de la costa se seca completamente, limitando la posibilidad de realizar dos campañas agrícolas al año.

En el aprovechamiento de los recursos hídricos para el riego en la costa peruana se pueden distinguir dos etapas. La primera, que comenzó en 1910 y se prolongó hasta 1950, se caracterizó por la acción combinada del Estado y la iniciativa privada para realizar obras de regadío, tanto para extender la superficie cultivada, como para mejorar la dotación de riego o lograr ambos fines. Las obras destinadas a ampliar dicha superficie estuvieron principalmente a cargo del Estado, y consistieron en simples derivaciones del agua a través de canales, lo cual permitió regar entre 2 000 y 15 000 hectáreas de tierras desérticas adyacentes a los valles que presentaban excedentes de agua.

Las obras destinadas a mejorar la dotación de riego fueron realizadas principalmente por iniciativa privada, y se limitaron a ampliar la capacidad de almacenamiento de las pequeñas lagunas en la cordillera y a explorar las aguas subterráneas mediante la perforación de pozos. Se estima que en este período el área regada en la costa se expandió en 150 000 hectáreas y se mejoró el riego en aproximadamente 200 000 hectáreas.

La segunda etapa, que se inició en 1950, se caracteriza por obras hidráulicas de mayor envergadura, construcción de presas de almacenamiento y derivaciones de los excedentes de agua mediante canales y túneles hacia algunas cuencas vecinas que mostraban déficit. Por lo general, estas obras tienen el doble objetivo de ampliar el área cultivada y mejorar la dotación de riego. Fueron realizadas exclusivamente por el Estado, con financiamiento externo de organismos internacionales de crédito y de la banca privada. Hasta el año 1975 se había ampliado el área cultivada en 250 000 hectáreas y mejorado la dotación de riego en 300 000 hectáreas; un tercio de este último proyecto consistió en la perforación de pozos y fue posible gracias a la iniciativa privada.

## *2. El Proyecto San Lorenzo*

El Proyecto San Lorenzo constituye la mayor empresa de riego y colonización de tierras eriazas emprendida hasta ahora por el Gobierno del Perú. Comprende 45 000 hectáreas con sistema de riego localizadas en el Departamento de Piura, aproximadamente 1 000 km al norte de Lima, en las zonas media y alta del monte desértico tropical que separa las cuencas de los ríos Chira y Piura. Su altitud varía entre 50 y 300 m (véase el gráfico VII-1).

La distancia media entre los valles de los ríos Chira y Piura fluctúa entre 10 y 50 km. El primero tenía excedentes de agua todo el año mientras que el segundo sólo disponía de agua durante tres a cuatro meses al año, de

La primera tentativa de desarrollo de los recursos hidráulicos de la región aprobada por el Gobierno del Perú fue un proyecto de ingeniería que consideraba la derivación de 600 millones de m<sup>3</sup> de agua al año del río Quiroz (afluente del Chira) al río Piura mediante la construcción de canales y túneles. Esta derivación mejoraría el riego en 31 000 hectáreas del valle del Piura y, al construir una presa de almacenamiento (San Lorenzo) y un sistema de canales, se ampliaría la superficie cultivada en 20 000 hectáreas. Posteriormente, se amplió la magnitud del proyecto a 45 000 hectáreas. La derivación de las aguas del Quiroz al Piura se terminó en 1954 y de inmediato se pudieron apreciar los beneficios de la mayor dotación de riego en la producción de algodón Pima, el principal cultivo de la región. El rendimiento medio de algodón subió de 1.04 tm/ha (período 1940-1953), antes de la derivación, a 1.27 tm/ha después de la derivación (período 1954-1959) y a 1.69 tm/ha cuando comenzó a funcionar la represa de San Lorenzo (período 1960-1974). (Véase el gráfico Vii-2.)

# EL SISTEMA HIDROLOGICO CHIRA-PIURA

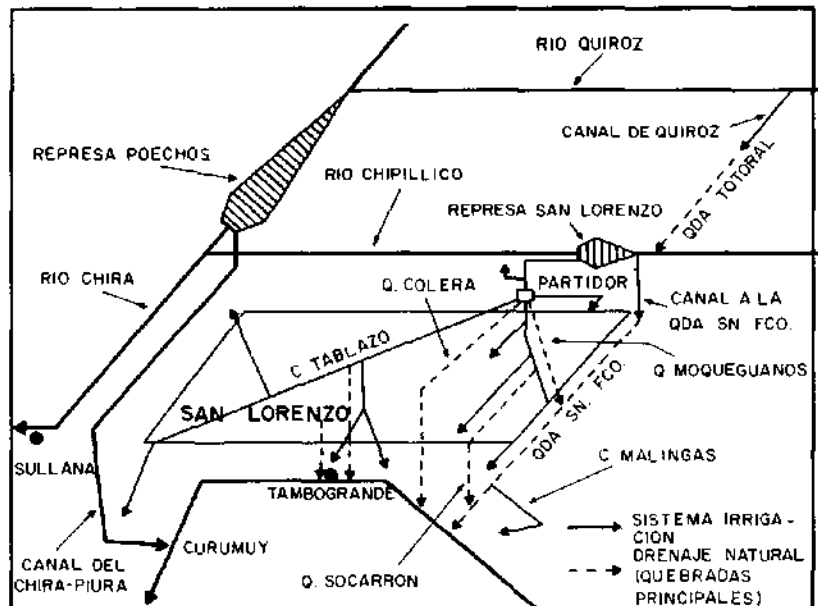
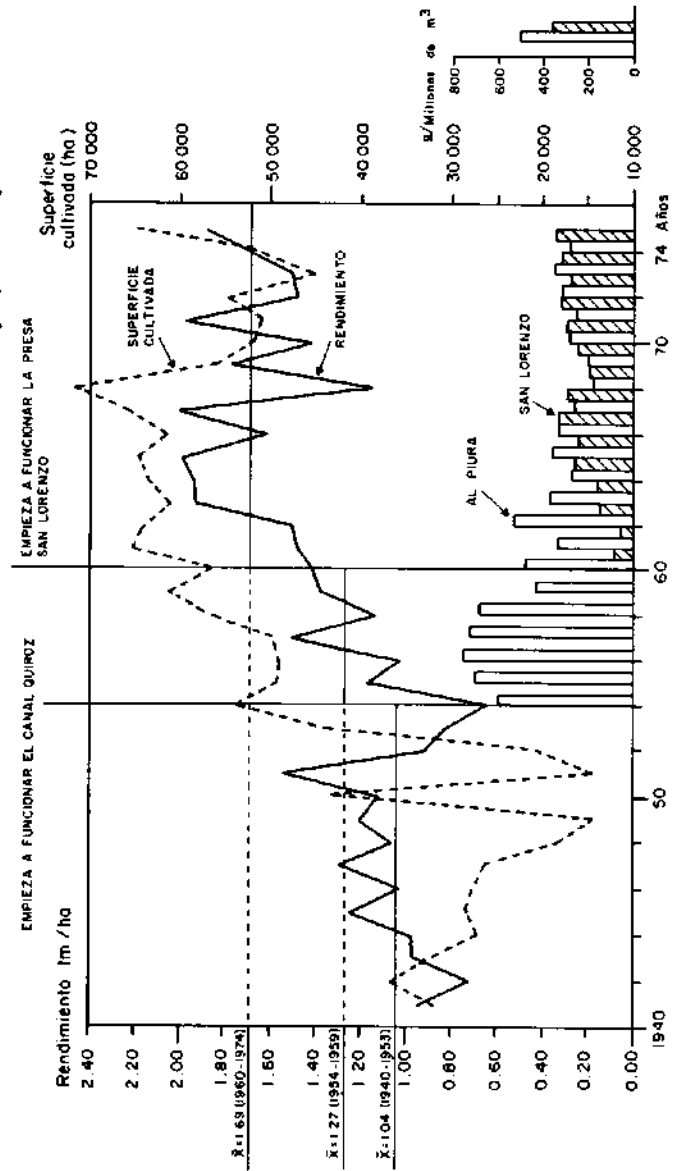


Gráfico VII-2

**SUPERFICIE CULTIVADA, RENDIMIENTO DEL ALGODON EN LOS VALLES DEL PIURA Y DEL CHIRA (1940-1974) Y MASAS ANUALES DE AGUA INCORPORADAS AL PIURA Y SUMINISTRADAS PARA EL RIEGO EN SAN LORENZO (1954-1974)  $\bar{x}$**



Los beneficios de una mejor dotación de riego en el valle del Piura fueron aún más notables en las empresas que utilizaron una mejor tecnología agrícola: nivelación de las tierras, avenamiento de las parcelas para controlar la salinidad, mejor preparación del terreno, dosis apropiadas de fertilizantes, y control de plagas y enfermedades (véase el gráfico VII-3). Antes de la derivación del Quiroz la dotación media de riego para el sembrío de algodón en la Hacienda Marihualá alcanzaba a 6 600 m<sup>3</sup>/ha y se obtenía un rendimiento de 1.87 tm/ha. En este período (1940 - 1954) se produjo una correlación muy estrecha entre la dotación de riego y los rendimientos. Con la derivación del Quiroz la dotación de riego aumentó a 8 400 m<sup>3</sup>/ha y el rendimiento medio de algodón subió a 3.3 tm/ha. La correlación entre la dotación de agua y el rendimiento del algodón desapareció porque el agua dejó de ser el factor limitativo de la producción agrícola. Los resultados obtenidos en la Hacienda Marihualá y en otras empresas agrícolas similares demostraron que en el valle del Piura existía un amplio margen para aumentar la producción de algodón si se mejoraban la dotación de riego y la tecnología agrícola.

En 1956 el gobierno peruano, ante los buenos resultados de la derivación y los altos precios alcanzados por el algodón Pima en el mercado internacional en esos años, autorizó la construcción de la Represa San Lorenzo destinada a almacenar 258 millones de m<sup>3</sup> de agua y establecer un sistema de riego para 45 000 hectáreas de nuevas tierras agrícolas. La represa se terminó en 1957, el sistema de canales en 1959 y el asentamiento de agricultores en la nueva colonización se inició en 1961.

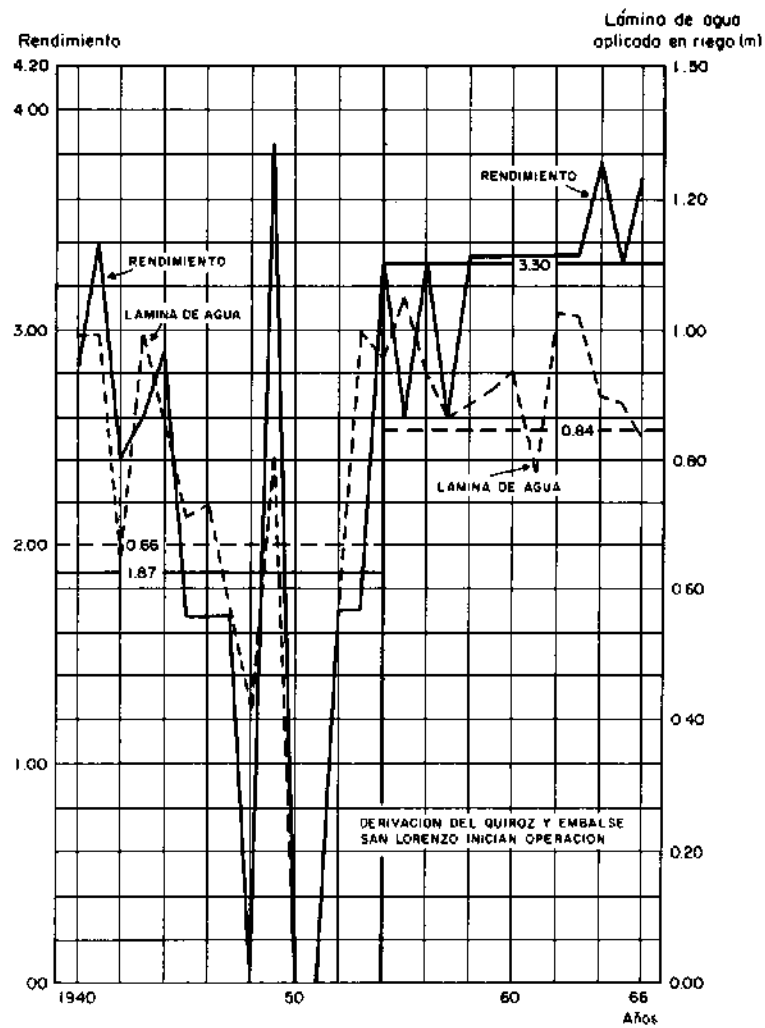
La ampliación incontrolada de los sistemas de riego en el valle del Piura por iniciativa privada entre 1948, en que se derivaron las aguas del Quiroz, y 1961 en que se instalaron los primeros colonos en San Lorenzo, alcanzó un total de 20 000 hectáreas distribuidas como sigue: valle alto 8 000 hectáreas, valle medio 3 000 hectáreas y valle bajo 9 000 hectáreas.

A partir de 1962, la agricultura establecida y ampliada del valle del Piura entró en competencia por los recursos de agua almacenados en la presa, con la agricultura de los nuevos colonos que por iniciativa del Gobierno se estaban instalando en San Lorenzo. Conforme se colonizaban las nuevas tierras se hacía evidente que los recursos hídricos aprovechados eran insuficientes para satisfacer la demanda de riego de las 44 000 hectáreas existentes en los valles medio y bajo del Piura y las 45 000 hectáreas de San Lorenzo. Este conflicto se resolvió en 1976, cuando entró en funcionamiento la represa de Poechos sobre el río Chira con una capacidad de almacenamiento de 1 000 millones de m<sup>3</sup> y del canal de derivación de 70 m<sup>3</sup>/seg entre Chira y el Piura. En esta forma el 50% del agua (300 millones de m<sup>3</sup>) derivada del Quiroz que se destinaba para el medio y bajo Piura se destinará en el futuro a regar las 36 000 hectáreas habilitadas para la agricultura en el Proyecto San Lorenzo.

La represa de Poechos se construyó en virtud de un plan de desarrollo integral de la cuenca formada por los ríos Tumbes, Chira y Piura. Los estudios básicos para formular el Plan mostraron fehacientemente que:

Gráfico VII - 3

INFLUENCIA DE LA DERIVACION DEL QUIROZ Y DE LA CONSTRUCCION DEL EMBALSE SAN LORENZO EN LA REGULACION DEL RIEGO Y SU EFECTO EN LOS RENDIMIENTOS DE ALGODON EN EL VALLE DEL BAJO PIURA: HACIENDA MARIHUALA



a) los sistemas de riego constituidos por el Chira, Piura y San Lorenzo están integrados y deben funcionar como una unidad para aprovechar el agua en forma más eficiente;

b) en la región del Piura, con las obras construidas hasta ahora prácticamente se ha agotado la posibilidad de desarrollar mayores recursos hídricos. El aprovechamiento futuro del agua en la región tendría que basarse en la derivación de afluentes del río Amazonas, como el Huancabamba. Estas derivaciones son muy costosas y sólo se justificarían económicamente si se pudiera utilizar el agua en proyectos multisectoriales como sería el aprovechamiento de energía eléctrica para el uso doméstico y la agricultura;

c) el uso eficiente del agua en una agricultura que utilice intensamente las tierras actualmente regadas (147 000 hectáreas en la región) debe prevalecer sobre cualquier otro interés por ampliar el área cultivada mediante los recursos existentes (véase el cuadro VII-1). En la práctica ello significa rehabilitar los sistemas de riego y drenaje, así como las obras y medidas tendientes a mejorar la operación y mantenimiento de los sistemas de regadío y elevar la tecnología agrícola a fin de obtener mayores rendimientos unitarios de los principales cultivos de la región.

Cuadro VII -1

PLAN GENERAL DE APROVECHAMIENTO DE TIERRAS REGADAS  
EN EL SISTEMA CHIRA-PIURA-SAN LORENZO  
(Miles de hectáreas)

| Tierras                                    | Chira<br>y<br>Quiroz | San Lorenzo<br>Chipillico | Medio<br>y<br>bajo Piura | Alto<br>Piura | Total  |
|--------------------------------------------|----------------------|---------------------------|--------------------------|---------------|--------|
| Con sistema de riego                       | 37.63                | 42.65                     | 52.70                    | 44.40         | 177.38 |
| Que se riegan<br>regularmente <sup>a</sup> | 29.00                | 28.20                     | 35.00                    | 28.40         | 120.60 |
| Con riego planificado <sup>b</sup>         | 32.00                | 36.00                     | 44.10                    | 35.00         | 147.10 |

<sup>a</sup> Tierras que en promedio se riegan en un año con buena dotación de agua en los ríos (aproximadamente 10 a 20 000 m<sup>3</sup>/ha-año).

<sup>b</sup> Tierras que se regarán cuando se desarrolle todo el sistema comprendido en el Plan Integral de Desarrollo. La dotación media será de 18 400 m<sup>3</sup>/ha-año entregada en la toma del fundo.

### 3. Definición del sistema integrado Chira - Piura - San Lorenzo

Las 45 000 hectáreas del Proyecto San Lorenzo están situadas, como ya se mencionó, en la costa árida del Perú entre los ríos Chira y Chipillico por el norte y el río Piura por el sur, formando un sistema hidrológico integrado.

Las cuencas de las regiones áridas experimentan grandes cambios a causa del incremento o la regulación de los recursos de agua. Por esta razón, los estudios y soluciones deben plantearse integralmente, abarcando toda la cuenca o las cuencas que están relacionadas. Sin embargo, en los países en desarrollo, debido a la escasez de personal técnico y de medios económicos las soluciones deben encararse por etapas y sobre la base de estudios parciales e incompletos como ocurre en el caso del aprovechamiento de las cuencas de los ríos Chira y Piura, del cual forma parte el Proyecto San Lorenzo.

En el aprovechamiento de los recursos de agua de dichas cuencas, las obras se realizaron en tres etapas. La primera consistió en la derivación del río Quiroz (afluente del Chira) al río Piura, según ya se explicó, con el fin de mejorar la dotación de riego en 31 000 hectáreas del valle del Piura. Antes de la derivación, este valle disponía de un precario sistema de riego que servía 31 000 hectáreas en años de agua abundante, pero que en promedio regaba solamente 17 000 hectáreas, casi en su totalidad de algodón Pima. El rendimiento medio era de 1 100 kg/ha de algodón en rama, volumen que según los estudios después de la obra de derivación se elevaría a 1 300 kg/ha dado el aumento en la dotación de riego.

La segunda etapa consistió en la incorporación al cultivo de 45 000 hectáreas de tierras eriazas (Proyecto San Lorenzo), mediante la construcción de la represa de San Lorenzo sobre el río Chipillico, que tiene una capacidad de almacenamiento de 258 millones de m<sup>3</sup>, y de la estructura de riego para servir las 45 000 hectáreas que constituyen la base agrícola de la colonización.

La tercera etapa comprendió la construcción de la presa de Poechos, destinada a almacenar 1 000 millones de m<sup>3</sup> de agua y un canal de derivación de 70 m<sup>3</sup>/seg, para derivar aguas reguladas del río Chira al río Piura. Las obras se terminaron en marzo de 1976 y son el resultado de un estudio integral para el desarrollo de ambas cuencas.

Además de las obras mencionadas el estudio integral comprende los siguientes proyectos de aprovechamiento del agua:

- a) la rehabilitación del sistema de riego y drenaje en los valles medio y bajo del río Piura, que asciende 8 500 y 35 600 hectáreas respectivamente. (En la actualidad se está construyendo el sistema de colectores de drenaje);
- b) la construcción de un sistema de colectores de drenaje en San Lorenzo destinados a mejorar 8 000 hectáreas de suelos afectados (las obras correspondientes se están ejecutando en la actualidad);
- c) la rehabilitación del sistema de riego y drenaje para 30 000 hectáreas

en el valle del río Chira;

d) el aprovechamiento de las aguas subterráneas en el valle alto del Piura para regularizar el riego en 36 000 hectáreas, y

e) el aumento de la capacidad de almacenamiento de la represa San Lorenzo de 254 a 312 millones de m<sup>3</sup>.

El estudio integral comprende, además, la producción de energía eléctrica, la construcción de caminos, posibles industrias y mejoramiento de los servicios.

El resultado final de las obras comprendidas en el estudio integral será disponer de un sistema regulado, constituido por las represas Poechos y San Lorenzo, que permite servir 112 000 hectáreas en los valles del Chira, del San Lorenzo, y del medio y bajo Piura.

En el cuadro VII - 2 se puede ver la disponibilidad de tierra en los valles comprendidos en el sistema.

Al clasificar los suelos se consideraron únicamente las tierras que se habían regado alguna vez. En la clase IV se incluyen los suelos arenosos y que presentan problemas de salinidad. En las clases II y III del valle de Piura se han incluido los suelos afectados por fenómenos de salinidad y drenaje, pero que cuentan con un sistema de drenes colectores que permite obtener buenos rendimientos de algodón. La mayor extensión de suelos de clase I se encuentra en el valle alto del Piura.

Cuadro VII - 2

CLASIFICACION DE LAS TIERRAS EN EL SISTEMA  
CHIRA-SAN LORENZO-PIURA<sup>a</sup>  
(Miles de hectáreas)

| Valle       | Clases de tierras |       |       |       |      | Total  |
|-------------|-------------------|-------|-------|-------|------|--------|
|             | I                 | II    | III   | IV    | V    |        |
| Chira       | 2.85              | 4.98  | 18.90 | 8.90  | -    | 35.63  |
| San Lorenzo | 7.17              | 0.65  | 18.27 | 12.40 | 1.91 | 40.40  |
| Alto Piura  | 17.80             | 10.20 | 16.40 | -     | -    | 44.40  |
| Medio Piura | 1.23              | 4.72  | 2.55  | -     | -    | 8.50   |
| Bajo Piura  | 1.50              | 23.27 | 10.85 | 8.58  | -    | 44.20  |
| Quiroz      | 0.50              | 0.69  | 0.81  | -     | -    | 2.00   |
| Chípillico  | 0.43              | 0.59  | 1.23  | -     | -    | 2.25   |
| Total       | 31.48             | 45.10 | 69.01 | 29.88 | 1.91 | 177.38 |

<sup>a</sup> La clasificación de las tierras se ha adaptado de la del United States Bureau of Reclamation, sobre la base de estudios semidetallados de los suelos.

El régimen de los ríos comprendidos en el sistema se presenta en el gráfico VII-4. Los ríos Chira, Quiroz, Chipillico y Piura pertenecen a la vertiente del Pacífico y tienen regímenes de descarga similares: un período de avenidas de enero a abril y un período de estiaje de junio a diciembre. Durante el período de estiaje los ríos Piura y Chipillico se secan completamente; en el período de avenidas, los ríos Chira y Quiroz descargan el 800/o de su masa anual. Por este motivo, era imposible un mayor aprovechamiento de la escorrentía superficial de estos ríos sin realizar obras de regulación.

En el cuadro VII-3 se muestra la utilización actual y futura de los recursos de agua disponibles en el sistema. El uso actual de agua proveniente de los ríos Chira y Piura es muy bajo, alcanzando sólo al 18 y 390/o respectivamente. Por su parte la regulación del río Chira y su derivación al medio y bajo Piura permitirá redistribuir y utilizar más racionalmente las aguas del sistema pues permitirá:

a) elevar el volumen de agua utilizada en el sistema de 1 654 millones de m<sup>3</sup> (360/o) a 3 052 millones de m<sup>3</sup> al año (700/o);

b) derivar al medio y bajo Piura una masa anual media de 900 millones de m<sup>3</sup>;

c) liberar los recursos del sistema San Lorenzo que antes se destinaban al medio y bajo Piura (300 millones de m<sup>3</sup> al año), para utilizarlos en las tierras de la colonización; y

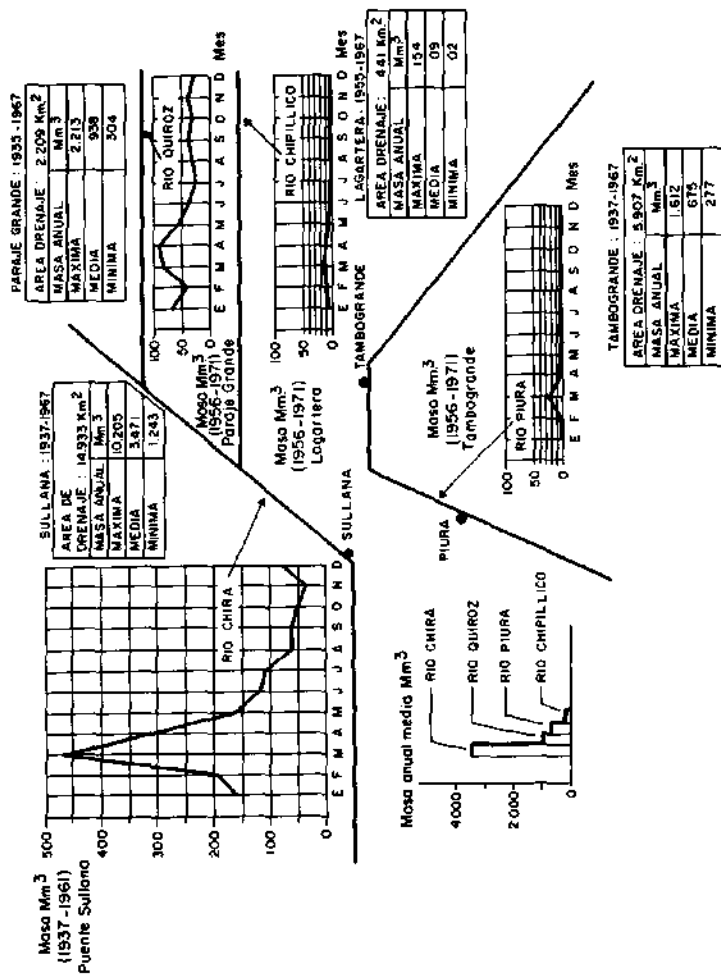
d) incrementar en 30 millones de m<sup>3</sup> al año la dotación del Alto Piura.

El porcentaje de utilización de los recursos de agua disponibles en el sistema desarrollado será de 1000/o para el sistema San Lorenzo; de 600/o para los recursos del río Chira y de 460/o para los del río Piura, que no cuenta con presa de regulación. Sin embargo, considerando el uso de los recursos de aguas subterráneas, al alto Piura alcanzará un rendimiento medio de 710/o.

#### *4. Efectos del agua en el ambiente árido de San Lorenzo*

El riego en San Lorenzo produjo un cambio sustancial en el balance hidrológico natural del área, que tuvo consecuencias físicas, económicas y sociales. Con el riego actual los suelos que antes recibían una precipitación media de 140 mm al año, apenas suficiente para el desarrollo de pastos temporales, algarrobos y una ganadería extensiva principalmente caprina, ahora reciben láminas de agua de 1 500 mm en promedio al año, lo que permite una agricultura intensiva en cultivos de algodón, maíz, arroz y frutales. Después de introducido el riego, la población aumentó de 400 a 4 140 familias, que dependen directamente de la agricultura y tienen ahora mayores oportunidades de trabajo. Las nuevas vías de comunicación abiertas para construir las obras y mantener los sistemas de regadío permitieron una mayor movilidad de la población y la ocupación del territorio. La flora

Gráfico VII-4  
ESQUEMA DEL COMPORTAMIENTO HIDROLÓGICO REGIONAL  
CHIRA - PIURA



Cuadro VII - 3

**USO ACTUAL Y FUTURO DE LOS RECURSOS DE AGUA DISPONIBLES EN  
LOS VALLES DE LOS RÍOS CHIRA, SAN LORENZO Y PIURA**

| <i>Fuente de agua</i> | <i>Valle o proyecto</i>    | <i>Volumen medio de agua disponible<br/>(millones de m<sup>3</sup>)</i> | <i>Volumen medio utilizado<br/>(millones de m<sup>3</sup>)</i> | <i>Uso del volumen disponible<br/>(porcentajes)</i> |
|-----------------------|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| <b>Uso actual</b>     |                            |                                                                         |                                                                |                                                     |
| Sistema San Lorenzo   | San Lorenzo                |                                                                         | 300                                                            |                                                     |
|                       | Medio Piura                |                                                                         | 50                                                             |                                                     |
|                       | Bajo Piura                 |                                                                         | 200                                                            |                                                     |
|                       | Chipillico                 |                                                                         | 30                                                             |                                                     |
|                       | <i>Total</i>               | <i>650</i>                                                              | <i>580</i>                                                     | <i>89</i>                                           |
| Río Chira             | Quituz                     |                                                                         | 40                                                             |                                                     |
|                       | Chira                      |                                                                         | 462                                                            |                                                     |
|                       | <i>Total</i>               | <i>2 820</i>                                                            | <i>502</i>                                                     | <i>18</i>                                           |
| Río Piura             | Alto Piura                 |                                                                         | 220                                                            |                                                     |
|                       | Medio Piura                |                                                                         | 50                                                             |                                                     |
|                       | Bajo Piura                 |                                                                         | 50                                                             |                                                     |
|                       | <i>Total</i>               | <i>820</i>                                                              | <i>320</i>                                                     | <i>39</i>                                           |
| Aguas subterráneas    | Alto Piura <sup>a</sup>    | 200                                                                     | 200                                                            |                                                     |
|                       | Bajo Piura <sup>b</sup>    | 52                                                                      | 52                                                             | 100                                                 |
|                       | <i>Total en el sistema</i> | <i>4 542</i>                                                            | <i>1 654</i>                                                   | <i>36</i>                                           |
| <b>Uso futuro</b>     |                            |                                                                         |                                                                |                                                     |
| Sistema San Lorenzo   | San Lorenzo                |                                                                         | 650                                                            |                                                     |
|                       | Chipillico                 |                                                                         | 30                                                             |                                                     |
|                       | <i>Total</i>               | <i>680</i>                                                              | <i>680</i>                                                     | <i>100</i>                                          |
| Río Chira             | Quituz                     |                                                                         | 40                                                             |                                                     |
|                       | Chira                      |                                                                         | 842                                                            |                                                     |
|                       | Medio y Bajo Piura         |                                                                         | 900                                                            |                                                     |
|                       | <i>Total</i>               | <i>2 700 <sup>c</sup></i>                                               | <i>1 782</i>                                                   | <i>66</i>                                           |
| Río Piura             | Alto Piura                 |                                                                         | 250                                                            |                                                     |
|                       | Medio y Bajo Piura         |                                                                         | 50                                                             |                                                     |
|                       | <i>Total</i>               | <i>700</i>                                                              | <i>300</i>                                                     | <i>43</i>                                           |
| Aguas subterráneas    | Alto Piura                 | 250                                                                     | 250                                                            | 100                                                 |
|                       | Bajo Piura                 | 40                                                                      | 40                                                             | 100                                                 |
|                       | <i>Total en el sistema</i> | <i>4 370</i>                                                            | <i>3 052</i>                                                   | <i>70</i>                                           |

*Fuente:* De los datos sobre el uso actual: International Engineering Company Inc., *Integrated Development of Resources in the Tumbes-Chira-Piura River Basins of Peru*, 1968.

<sup>a</sup> Pozos de una profundidad media de 40 m.

<sup>b</sup> Pozos de 90 a 100 m de profundidad.

<sup>c</sup> Se supone un incremento en el uso del agua en la cuenca alta del río Chira que pertenece al Ecuador.

y fauna nativas comenzaron a desaparecer y se introdujeron especies vegetales y animales domesticados. Aumentó la deforestación de las cuencas altas debido a la facilidad de acceso y a la mayor población que explota hasta la degradación las especies forestales más valiosas y tala los bosques de protección para construir cercos y obtener leña y carbón. Como consecuencia de la tala indiscriminada de los bosques de protección aumentó la erosión y la carga de sedimentos en los cursos de agua. En el año 1974, el gobierno promulgó una ley de veda forestal en la región de los ríos Piura y Tumbes, e inició programas de reforestación de las cuencas altas para corregir la degradación de los últimos años. Es importante destacar que las obras de riego no sólo afectan y transforman la región dominada por los sistemas de regadío; su influencia también se extiende a las partes altas de las cuencas donde se encuentran las obras de derivación y almacenamiento. Si no se protegen las partes altas de las cuencas, se corre el riesgo de deforestación, erosión y aumento de los sedimentos, que traen consigo dañinas consecuencias sobre la duración, funcionamiento y mantenimiento de los sistemas de regadío.

San Lorenzo ha recibido un promedio de 280 millones de m<sup>3</sup> de agua de riego al año. En el cuadro VII-4 se presentan los datos sobre utilización de estas masas de agua en los años que se indican. De allí se deduce:

Cuadro VII - 4

SISTEMA SAN LORENZO: VOLUMEN DE AGUA ENTREGADA, SUPERFICIE EFECTIVA REGADA, DOTACION DE RIEGO, USO CONSUNTIVO, AGUA DE DRENAJE Y EFICIENCIA DE USO DEL AGUA

| Año  | Agua entregada <sup>a</sup><br>(millones de m <sup>3</sup> ) | Superficie efectiva regada <sup>b</sup><br>(miles de ha) | Dotación de riego <sup>c</sup><br>(m <sup>3</sup> /ha-año) | Uso consuntivo <sup>d</sup><br>(millones de m <sup>3</sup> ) | Agua de drenaje <sup>e</sup><br>(millones de m <sup>3</sup> ) | Eficiencia de uso <sup>f</sup><br>(porcentajes) |
|------|--------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| 1964 | 251                                                          | 13.00                                                    | 19 300                                                     | 105                                                          | 146                                                           | 42                                              |
| 1967 | 290                                                          | 16.27                                                    | 17 340                                                     | 117                                                          | 173                                                           | 40                                              |
| 1970 | 291                                                          | 23.45                                                    | 12 410                                                     | 188                                                          | 103                                                           | 64                                              |
| 1973 | 302                                                          | 25.30                                                    | 11 940                                                     | 202                                                          | 100                                                           | 67                                              |

Fuente: Dirección Ejecutiva del Proyecto Especial Chira-Piura.

<sup>a</sup> Agua entregada a los canales principales.

<sup>b</sup> La superficie efectiva regada corresponde al área cosechada.

<sup>c</sup> La dotación de riego se obtuvo dividiendo el agua entregada por la superficie.

<sup>d</sup> El uso consuntivo se calculó por la fórmula de Hargreaves (1968) de acuerdo con la cédula de cultivo y la superficie sembrada.

<sup>e</sup> El agua de drenaje se obtuvo de la diferencia entre el agua entregada y el uso consuntivo.

<sup>f</sup> La eficiencia de uso se obtuvo dividiendo el uso consuntivo por el agua entregada.

a) que la superficie regada ha ido en aumento en los últimos años mientras la dotación de riego ha disminuido proporcionalmente, siendo en la actualidad de 12 000 m<sup>3</sup>/ha por año. Con esta dotación sólo se obtiene un cultivo al año, aparte que ella es insuficiente para lavar las sales del perfil de los suelos;

b) la eficiencia de uso del agua de riego ha aumentado y por consiguiente ha disminuido el agua de drenaje; y

c) el volumen de agua de drenaje en los primeros años de colonización fue alto y recargó los acuíferos subterráneos, derivados de la presencia de una napa freática alta y de la salinidad de los suelos.

##### *5. La degradación de las aguas y la salinización de los suelos de San Lorenzo y el valle del río Piura*

En toda la región norte del Perú donde existen formaciones terciarias de origen marino está latente el problema de la degradación de las aguas y los suelos. En San Lorenzo, la percolación de los excedentes de riego hace que el agua entre en contacto con la formación terciaria, disuelva las sales y las transporte a zonas de riego más bajas y, a través de las quebradas naturales, hacia las cuencas vecinas del Chira y el Piura. El proceso de degradación de aguas y suelos ha sido muy rápido en San Lorenzo y a ello contribuyeron los excedentes de riego que existieron en los primeros años de la colonización y el cultivo de arroz en tierras anegadas. El agua del reservorio y canales revestidos es de muy buena calidad (estaciones de muestreos DP-1 y DP-7) y la concentración de sales en las aguas de los drenes aumenta conforme éstas avanzan por la quebrada de San Francisco hacia el río Piura. En el gráfico VII-5 se presenta el balance hidrológico de la colonización San Lorenzo correspondiente al año 1974. Se ha estimado que al valle del Piura drenaron durante ese año 85 millones de m<sup>3</sup> de agua que aportaron un volumen de sales del orden de los dos millones de toneladas. En cambio, en ese mismo año drenaron al Chira 8.5 millones de m<sup>3</sup> con una carga de sales del orden de las 200 000 toneladas métricas. Este aporte no es significativo para el valle del Chira, dadas las altas descargas de ese río y la excelente calidad de sus aguas; en cambio sí es importante el aporte de sales de San Lorenzo al Piura. El contenido salino afecta principalmente al bajo Piura ya que el medio Piura es un valle estrecho en que el río actúa como dren principal, lo cual significa que este último también aporta sales al primero.

Las sales aportadas por el San Lorenzo y el medio Piura contaminan el acuífero superficial del bajo Piura y agravan la salinización, fenómeno que data de muy antiguo. Por este motivo, al perforar pozos en esta parte del valle debe evitarse la contaminación de los acuíferos profundos con aguas del acuífero superficial. En el gráfico VII-6 se presenta un ejemplo de este tipo de contaminación.

Gráfico VII-5

ESTIMACION DEL BALANCE HIDROLOGICO DE LA IRRIGACION  
Y COLONIZACION SAN LORENZO, 1974

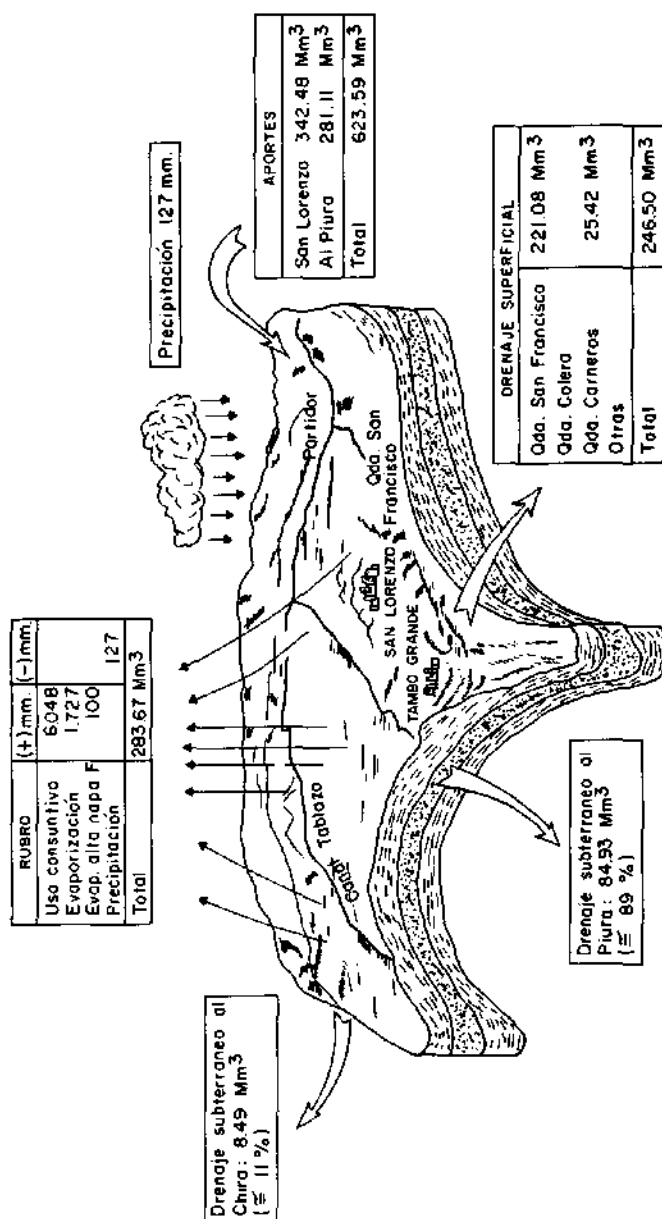
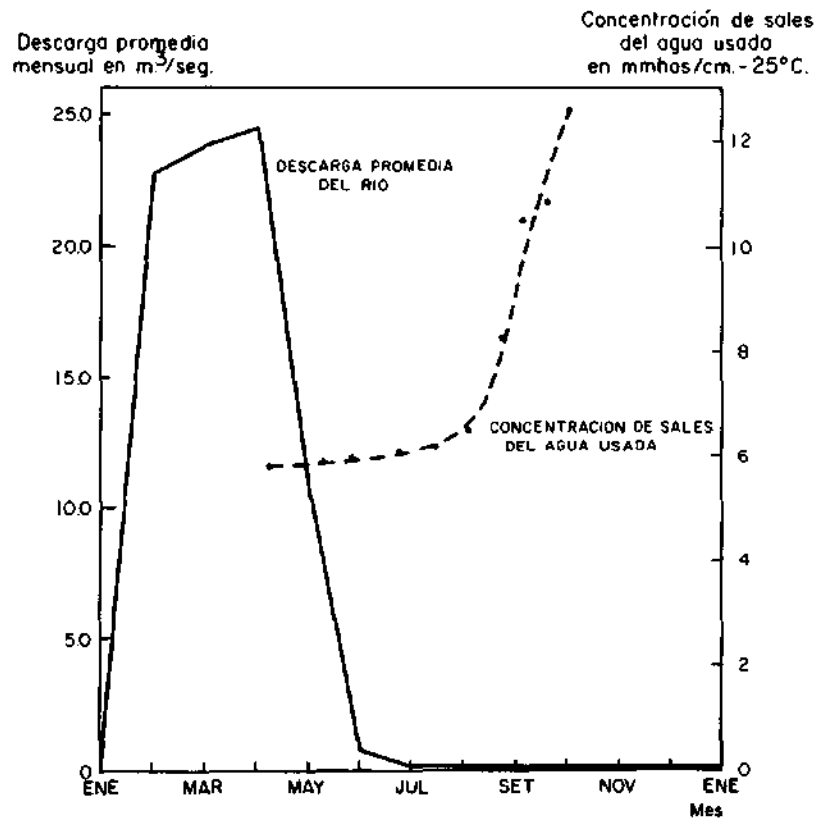


Gráfico VII-6

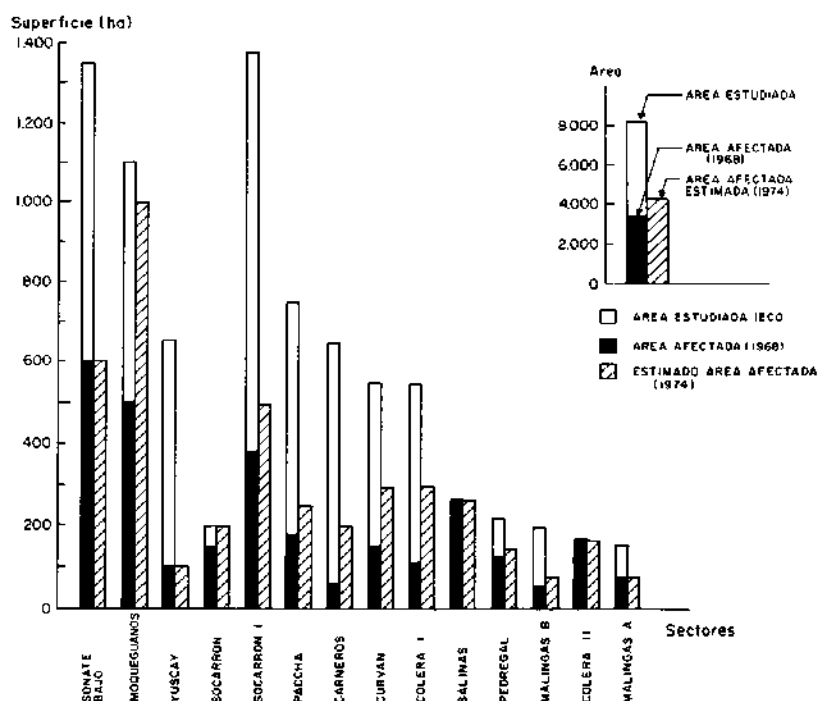
RELACION ENTRE EL COMPORTAMIENTO HIDROLOGICO DEL  
BAJO PIURA Y LA CONCENTRACION DE SALES DE LAS  
AGUAS BOMBEOADAS DEL ACUIFERO PROFUNDO  
(CONTAMINACION POR INTERCOMUNICACION DE ACUIFEROS)



En el gráfico VII - 7 se pueden apreciar los niveles de salinización progresiva de los suelos de los diferentes sectores de riego de San Lorenzo entre 1968 y 1974. Los sectores más afectados son los de Somate Bajo y Moqueguanos. La superficie afectada en Somate Bajo no aumentó durante el período aludido de donde se desprende que el sistema de colectores construido en ese sector ha sido suficiente para detener el proceso de salinización, y que ahora basta drenar las parcelas para recuperar los suelos afectados. En el sector de riego Moqueguanos la superficie salinizada se duplicó entre 1968 y 1974, por cuanto no existía un sistema de drenes colectores, pero se empezó a construir uno en 1975. El gráfico VII-7 muestra que en todos los sectores de riego de San Lorenzo los suelos tienen, en mayor o menor grado, problemas de salinidad, y que el área afectada ha aumentado de 3 200 a 4 400 hectáreas entre 1968 y 1974.

Gráfico VII-7

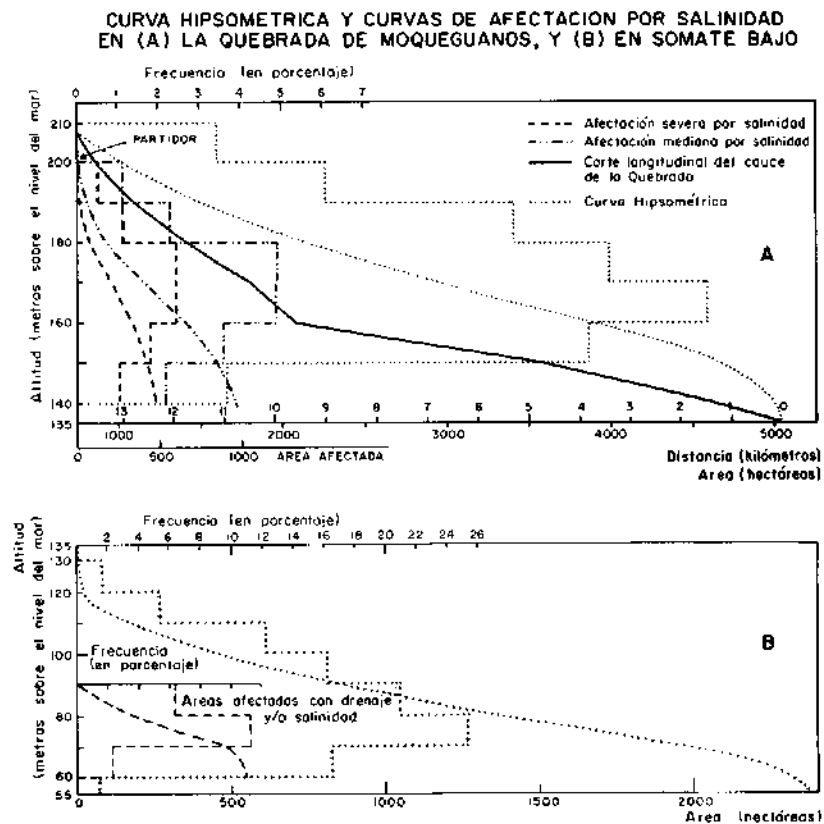
PROYECTO DE DRENAJE SAN LORENZO, AREAS  
ESTUDIADAS Y AFECTADAS POR PROBLEMAS DE SALINIDAD



La causa de los problemas de salinidad y drenaje en San Lorenzo es la formación terciaria, que además de aportar sales, actúa como estrato impermeable, deteniendo la percolación del agua y posibilitando la formación de una napa freática salina próxima a la superficie. En las zonas donde esta formación se acerca a la superficie —generalmente las zonas bajas— se acentúa la posibilidad de que aumenten la salinidad y el drenaje. En San Lorenzo, dada la abundancia de calcio en los suelos y agua de riego, es muy improbable que se desarrollen suelos sódicos.

En el gráfico VII-8 se muestra la relación que existe entre el proceso de salinización y la posición de los suelos en relación con una línea base de referencia mediante las curvas hipsométricas y de salinidad correspondientes a los suelos del Moqueguanos y del Somate.

Gráfico VII-8



El problema de la salinidad de los suelos en San Lorenzo puede resolverse fácilmente. Es un problema circunscrito a los suelos más bajos próximos a las quebradas, y los colectores que se construyen actualmente podrían rehabilitar los suelos sin recurrir al drenaje parcelario, salvo en casos de salinización extrema.

La dotación de agua en San Lorenzo ha ido descendiendo conforme se ha ampliado la superficie cultivada. Entre 1964 y 1968 la dotación media (módulo de riego) era de 17 000 m<sup>3</sup>/ha año. En el período comprendido entre 1969 y 1974 bajó a 12 000 m<sup>3</sup>/ha año. Este descenso en el módulo de riego debe haber ejercido un doble efecto sobre la salinidad. Por un lado, deben haber disminuido los excedentes de riego y el traslado de sales a las partes bajas de la colonización y hacia las cuencas del Chira y el Piura. Por otro lado, la dotación de riego es tan baja que no es posible recuperar los suelos afectados por las sales, aun disponiendo de un sistema de colectores. Cuando se ponga en marcha la represa de Pocchos y se liberen los cursos del Quiroz que antes se derivaban al Piura para ser utilizados en San Lorenzo, debería ser posible lograr el aumento futuro de la dotación de riego, siempre que no se amplíen los sistemas de riego indiscriminadamente.

#### *6. Incremento de la superficie regada, tenencia de la tierra y agricultura en San Lorenzo*

El incremento de la superficie regada en San Lorenzo se puede apreciar en el gráfico VII-9. Las áreas abandonadas se han agrupado en los años 1972 y 1973 para facilitar su cómputo y representación gráfica, pero el abandono de las parcelas ha sido gradual y se inició en 1965, debido, principalmente a la escasez de agua y a la salinización de los suelos. En relación con el gráfico VII-9 merece destacarse lo siguiente:

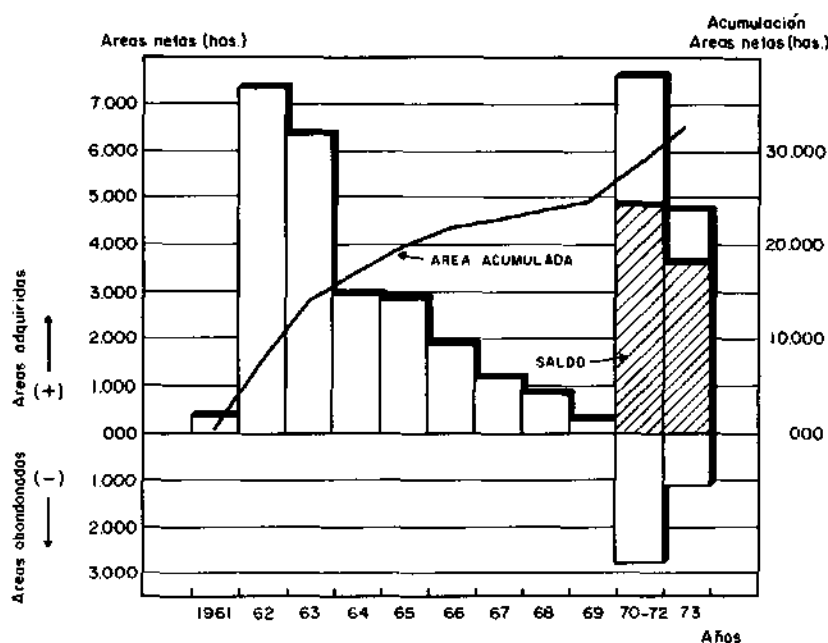
a) la superficie total entregada a los colonos fue de 32 500 hectáreas y la zona abandonada alcanzó a un total de 4 000 hectáreas. La infraestructura de riego de San Lorenzo se construyó para 45 000 hectáreas; por consiguiente, 8 500 hectáreas con infraestructura de riego no fueron colonizadas por falta de agua;

b) las parcelas fueron abandonadas porque sus suelos eran muy arenosos y necesitaban dotaciones de agua muy altas para ser regadas por gravedad (2 800 ha); debido a su alto grado de salinidad (800 ha); y por otras razones (200 ha);

c) la colonización de San Lorenzo se llevó a cabo sin ningún estudio previo sobre la materia y por consiguiente, no se tenía una idea clara de la magnitud y alcance de la tarea. Este hecho, unido a la insuficiencia de los estudios agrícolas, a la expansión de la superficie en la cuenca del Piura con la consiguiente disminución de la dotación de agua de riego, y a los cambios en las leyes y prioridades sobre tenencia de la tierra y prestación

Gráfico VII-9

**PROYECTO SAN LORENZO : INCREMENTO DE  
AREAS NETAS (1961-1973)**



de servicios, explican la situación actual de la colonización y los aspectos negativos de ésta.

Sin embargo, San Lorenzo muestra aportes positivos, como son la superficie actualmente regada, su producción y el número de familias que viven de la actividad agrícola.

En el cuadro VII-5 se presenta la superficie cultivada efectiva y los rendimientos de los principales cultivos de San Lorenzo para los años que se indican. Con relación a este cuadro, merece destacarse lo siguiente:

a) la superficie cultivada efectiva en San Lorenzo asciende en la actualidad a 26 000 hectáreas, de las cuales el 78% corresponde a cultivos anuales y el 22% restante a frutales. Si se considera que se han entregado a los agricultores 32 500 hectáreas y que anualmente sólo se cosechan 26 000 hectáreas, el índice actual de utilización de las tierras es de 0.8;

b) la superficie cultivada en San Lorenzo ha ido en aumento, siguiendo la secuencia lógica de todo proyecto de riego y colonización de tierras eriazas. Es notable el esfuerzo desplegado en los primeros dos años de colonización (1962-1964), en que se habilitaron para la agricultura 14 400 hectáreas de tierras eriazas;

**SAN LORENZO: SUPERFICIE CULTIVADA EFECTIVA<sup>a</sup> Y RENDIMIENTO  
DE LOS PRINCIPALES CULTIVOS**

| Cultivos               | Superficie cultivada (miles de ha) |             |             |             |             | Rendimientos (ton métricas/ha) |      |      |       |       |
|------------------------|------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------------------------|------|------|-------|-------|
|                        | 1964                               | 1967        | 1970        | 1973        | 1974        | 1964                           | 1967 | 1970 | 1973  | 1974  |
| <i>Anuales (total)</i> | 14.2                               | 16.5        | 18.4        | 20.1        | 20.2        |                                |      |      |       |       |
| Algodón                | 11.4                               | 10.6        | 9.5         | 10.1        | 15.0        | 2.67                           | 2.01 | 2.34 | 1.80  | 1.38  |
| Arroz                  |                                    | 0.7         | 3.2         | 4.4         | 3.2         | -                              | 4.70 | 6.20 | 4.57  | 4.12  |
| Maíz                   | 1.0                                | 2.2         | 2.5         | 4.2         | 1.6         | 3.0                            | 3.45 | 3.19 | 3.00  | 2.74  |
| Otros                  | 1.8                                | 3.0         | 3.2         | 1.4         | 0.4         | -                              | -    | -    | -     | -     |
| <i>Frutales</i>        | 0.2                                | 1.9         | 5.6         | 5.3         | 5.3         |                                |      |      |       |       |
| Cítricos               | 0.1                                | 0.7         | 1.9         | 1.7         | 1.7         | -                              |      | 2.26 | 9.70  | 11.00 |
| Mango                  | -                                  | 0.5         | 2.8         | 2.9         | 2.9         | -                              | -    | 6.40 | 10.00 | 15.00 |
| Otros                  | 0.1                                | 0.7         | 0.9         | 0.7         | 0.7         | -                              | -    | -    | -     | -     |
| <i>Total general</i>   | <i>14.4</i>                        | <i>18.4</i> | <i>24.0</i> | <i>25.0</i> | <i>25.5</i> |                                |      |      |       |       |

Fuente: Dirección Ejecutiva del Proyecto Especial Chira-Piura.

<sup>a</sup> Superficie cosechada de un cultivo determinado.

c) los rendimientos de los cultivos anuales a partir de 1970 han ido decreciendo así como también a partir de ese año a comenzar a disminuir la superficie de frutales. Sin embargo, el rendimiento de los frutales va en aumento, como consecuencia lógica de la maduración fisiológica de las plantaciones y de la mayor dedicación y esmero que les prestan los agricultores en razón de las altas inversiones que realizan en ellos y el valor económico de las cosechas.

En el gráfico VII-10 se presenta la relación que existe entre la dotación de riego y la superficie cultivada efectiva de San Lorenzo. Antes de 1970 la dotación media era superior a 15 000 m<sup>3</sup>/ha-año; en los últimos años, al incrementarse la superficie cultivada, la dotación de riego se redujo a 12 000 m<sup>3</sup>/ha-año. Esta sólo permite un cultivo al año y explica la diferencia existente entre la superficie entregada (32 500 ha) y la superficie cultivada efectiva (26 000 ha). Los agricultores cuyos cultivos necesitan mayores dotaciones de agua -arroz principalmente y en menor proporción frutales- deben dejar de sembrar parte de sus tierras para destinar el agua que reciben al riego de dichos cultivos.

En el gráfico VII-11 se muestra la relación entre la dotación de riego y los rendimientos del cultivo del algodón en San Lorenzo. Los rendimientos

Gráfico VII-10

IRRIGACION Y COLONIZACION SAN LORENZO: RELACION  
ENTRE LA SUPERFICIE CULTIVADA Y EL  
MODULO  $m^3$  /Ha/Año , 1964 -1974

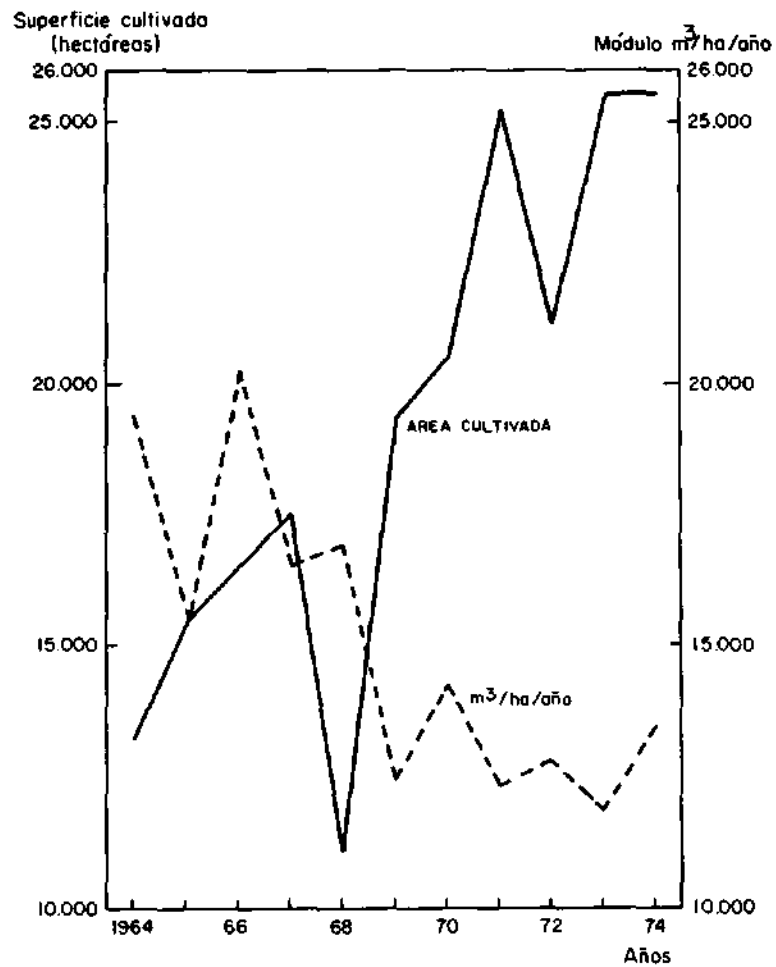
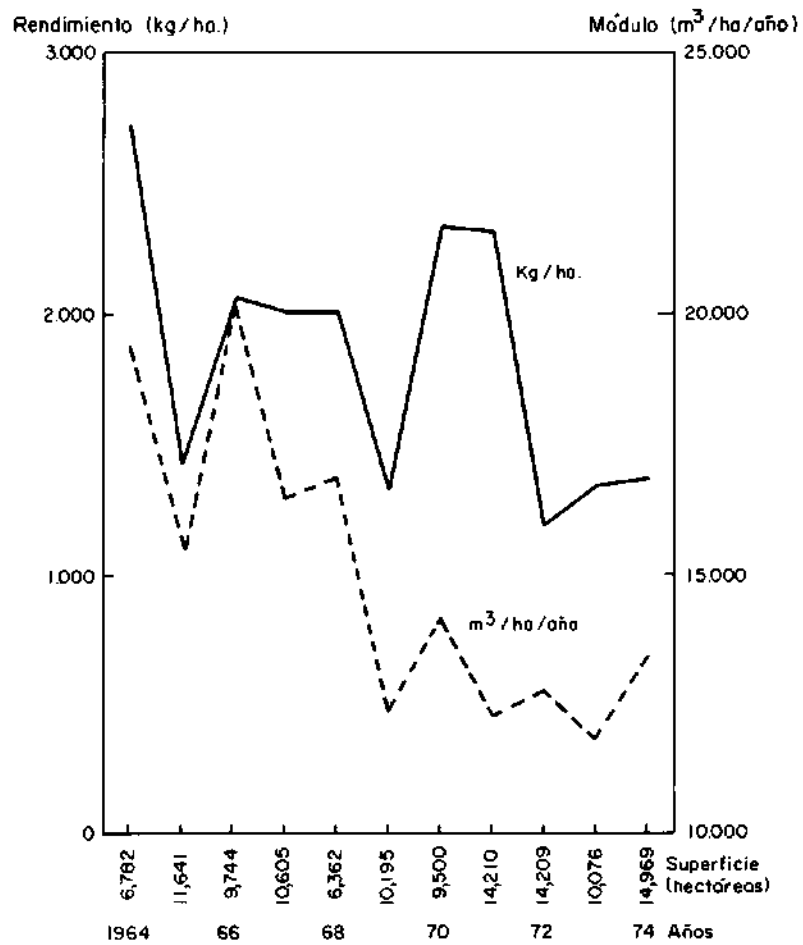


Gráfico VII-II

**SAN LORENZO PROYECTO DE IRRIGACION Y  
COLONIZACION : RENDIMIENTO DEL ALGODON  
Y MODULO ENTREGADO, 1964 - 1974**



del algodón comenzaron a descender en 1970, al igual que los de los demás cultivos anuales, por las razones que se indican:

a) la pérdida de su status de proyecto especial con autonomía técnica y administrativa y su incorporación a la Zona Agraria I como Oficina Agraria San Lorenzo;

b) la menor prioridad para obtener crédito y asistencia técnica por parte del Estado, que la ley de Reforma Agraria asigna a la propiedad agrícola individual. En San Lorenzo la propiedad agrícola individual abarca el 650/o de la tierra entregada;

c) la menor dotación de agua y la salinización de los suelos; y

d) el efecto que en los rendimientos del año 1974 tuvo el menor uso de fertilizantes, debido a la escasez y aumento desproporcionado de los precios.

La decisión, por razones sociales, de asentar un mayor número de agricultores en San Lorenzo entre los años 1971 y 1973 suponía disminuir la dotación de riego a fin de atender una mayor extensión, sacrificando la intensidad de uso de la tierra y los rendimientos. A juicio de los autores ésta es una política inconveniente en sistemas de riego como San Lorenzo, donde existe un clima excelente que permite utilizar la tierra intensivamente y obtener buenos rendimientos; escasez de tierras de buena calidad, lo que significa que las ampliaciones se hacen sobre tierras de más baja calidad o marginales; y una infraestructura de riego costosa e imposible de financiar sin altos rendimientos y uso intensivo de las tierras.

En 1974 la población pecuaria y avícola en San Lorenzo se componía aproximadamente de 32 500 cabezas entre vacunos lecheros, ovinos, porcinos, caprinos, equinos y asnos (con predominio de los caprinos), y de 45 000 aves de corral.

La actividad pecuaria no tiene mayor significación económica en San Lorenzo; está dedicada exclusivamente al abastecimiento local y el excedente se comercializa en la ciudad de Piura.

### *7. Conclusiones y recomendaciones*

Las conclusiones y recomendaciones generales más importantes del estudio del Proyecto San Lorenzo pueden resumirse como sigue:

a) Las zonas áridas son ambientes frágiles, de drenaje incipiente que experimentan importantes modificaciones si reciben grandes volúmenes de agua. Si bien en el caso del Proyecto San Lorenzo no fue prevista la salinización de los suelos ni la del agua, estas modificaciones son previsibles y pueden ser controladas por el hombre a costos razonables mediante un manejo adecuado del agua y del suelo.

b) En las zonas áridas, el almacenamiento y la transferencia de aguas permite aumentar el riego, pero contribuye a arrastrar las sales que existen en los suelos desérticos. El drenaje imperfecto y la traslación de las sales generan problemas de salinidad y de avenamiento, principalmente en las

zonas bajas. Estas zonas bajas deben destinarse preferentemente a la traslación y crianza de ganado, y en último término, al asentamiento de colonos, a fin de evitar reubicaciones posteriores y el abandono de tierras e inversiones.

c) En las zonas áridas el recurso limitativo es el agua, y dada su gran extensión cuando se construyen obras de riego deben adoptarse disposiciones estrictas sobre la ampliación de la superficie regada y la devastación de la flora nativa, especialmente de las especies arbóreas. Como la superficie habilitada en el caso del Proyecto San Lorenzo fue superior a la prevista inicialmente, a la postre la dotación media de agua fue inferior a la necesaria para el riego y el lavado de los suelos, con lo cual se intensificó el problema de la salinización, agravado por el peculiar origen geológico de la región (terciario y marino).

d) Los proyectos de riego con obras hidráulicas e infraestructura costosas como el de San Lorenzo sólo pueden alcanzar índices económicos favorables que justifiquen las inversiones sobre la base de: i) la utilización intensiva de las tierras; ii) buenos rendimientos de los cultivos de alto valor económico; iii) el uso eficiente del agua; y iv) un buen sistema de apoyo y estímulo a las inversiones en las actividades agrícolas y pecuarias. Según algunas estimaciones preliminares de indicadores de evaluación económica el Proyecto San Lorenzo, analizado individualmente, habría tenido baja rentabilidad, no así las inversiones complementarias necesarias para recuperar las tierras hoy salinizadas, porque las inversiones realizadas en las obras mayores tienen hoy un costo de oportunidad cero (véase el cuadro VII-6).

e) En las regiones áridas una práctica aceptable consiste en iniciar la construcción de obras hidráulicas simples como derivaciones y almacenamientos medianos sin contar con estudios integrales, siempre que estas obras no comprometan la parte más importante de los recursos hídricos disponibles en la cuenca. De comprometerla, es indispensable efectuar estudios integrales de la cuenca o cuencas afines. En las zonas áridas éstos deben comprender estudios básicos de suelos y agua, de explotación racional de la flora y la fauna (tanto autóctonas como las que se han originado gracias a las obras de riego), y económicos.

f) La administración de los sistemas hidráulicos integrados, como en el proyecto en examen exige que se establezca un organismo regional con autoridad sobre todo lo relacionado con la operación y el mantenimiento del sistema, incluida la conservación y control de las cuencas altas. Para su funcionamiento es imprescindible que los recursos humanos y económicos sean adecuados, y que los usuarios participen en la administración de los sistemas de riego, conservación y manejo de los recursos naturales afines, especialmente de las aguas.

**RELACION BENEFICIO/COSTO Y TASA INTERNA DE RETORNO DE LOS  
PROYECTOS CONSIDERADOS EN EL ESTUDIO INTEGRAL**

| <i>Proyecto</i>                                                                      | <i>Relación<br/>beneficio/costo</i> | <i>Tasa interna<br/>de retorno<br/>(Porcentajes)</i> | <i>Interés utilizado<br/>en el descuento<br/>(Porcentajes)</i> |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| Rehabilitación del sistema de<br>riego y drenaje del Bajo Piura <sup>a</sup>         | 1.1                                 | 17                                                   | 15                                                             |
| Colectores de drenaje San<br>Lorenzo <sup>a</sup>                                    | 1.7                                 | 20                                                   | 20                                                             |
| Rehabilitación del sistema de<br>riego y drenaje del valle del<br>Chira <sup>b</sup> | 1.1                                 | 6.8                                                  | 20                                                             |
| Desarrollo de aguas subterráneas<br>en el alto Piura <sup>b</sup>                    | 1.6                                 | 9.0                                                  | 20                                                             |
| Aumento de la capacidad de alma-<br>cenamiento de San Lorenzo <sup>b</sup>           | 4.2                                 | 17.4                                                 | 20                                                             |

<sup>a</sup> Existen estudios de factibilidad.

<sup>b</sup> No existen estudios de factibilidad.

## BIBLIOGRAFIA

- ANDERSON, Keith, *Estudio de evaluación del problema de drenaje y salinidad en San Lorenzo y el valle bajo del Piura*, 1967.
- ARENS SCHAEFER, José, *El cultivo algodónero y sus problemas en el bajo Piura*, tesis para optar al título de ingeniero agrónomo, Universidad Nacional Agraria, La Molina, Perú, 1972.
- BECERRA WINKELMANN, José F., *Balance hidrológico para la formulación del plan de riego y cultivo en el valle del río Piura*, tesis para optar al título de ingeniero agrícola, Universidad Nacional Agraria, La Molina, Perú, 1973.
- BRACK, Antonio, *Ecología animal con especial referencia al Perú*, primera parte, Universidad Nacional Agraria, La Molina, Perú (documento mimeografiado), 1973.
- CAMARA ALGODONERA DEL PERU, *Boletín anual*, años 1940 al 1971.
- CASTILLO, M., *Diagnóstico forestal de los departamentos de Tumbes y Piura*, Dirección Forestal y Caza del Perú, Lima, 1973.
- CENDRET, *Estudios de las características hidrodinámicas de los suelos. Valle Bajo Piura*, tomo I, Convenio Perú-Holanda, Universidad Nacional Agraria, Facultad de Ingeniería Agrícola, La Molina, Perú, 1968.
- COMISION DE ESTUDIOS INTEGRALES DE AGUA POTABLE Y DESAGUE DE PIURA METROPOLITANA, *Proyecto integral de agua potable y alcantarillado de la ciudad de Piura*, Ministerio de Fomento, Subdirección de Obras Sanitarias del Perú, Lima, 1965.
- CONKLING, H., *Explotación de las aguas subterráneas en la costa del Perú. Valle de Piura*, Bolt. Sociedad Nacional Agraria, 1938.
- CORNEJO T., Arturo, *El riego en el Perú*, Publirat, Universidad Nacional Agraria, La Molina, Perú (segunda edición), 1975.
- COTTON, J.S., *Report on Quiroz and Piura Rivers Irrigation Development*, Archivo técnico de la Dirección General de Irrigaciones, Ministerio de Agricultura del Perú, Lima, 1952.
- DE LA TORRE, Abelardo, *Criterio para estimar el esparcimiento de drenes en el Valle Medio y Bajo Piura*, CENDRET, 1968.
- DIRECCION EJECUTIVA DEL PROYECTO ESPECIAL CHIRA PIURA, *Estudio del control del nivel freático y de calidad de aguas, 1972, 1974, Bajo Piura*, Convenio DEPECHP/Universidad Nacional Técnica de Piura.
- DIRECCION EJECUTIVA DEL PROYECTO ESPECIAL CHIRA PIURA, "Area piloto de drenaje N° 2, Pedregal, valle Bajo Piura", vol. I; *Informe: diseño, ejecución y costo; Primera Evaluación*, vol. II, *Planos*, Ministerio de Agricultura del Perú.
- DIRECCION EJECUTIVA DEL PROYECTO ESPECIAL CHIRA-PIURA, *Proyecto Chira-Piura -- Anuario Hidrológico 1973*, (Ed.), Ministerio de Agricultura del Perú.
- DIRECCION EJECUTIVA DEL PROYECTO ESPECIAL PIURA, *Proyecto Chira-Piura -- Anuario Hidrológico año 1974*, (Ed.), Ministerio de Agricultura del Perú.
- DIRECCION GENERAL DE AGUAS, *Optimización del uso de aguas, 1974, 1a. etapa*, Recuperación de los suelos salinos del Alto Piura, Dirección de Recuperación y Conservación, Ministerio de Agricultura del Perú.

- DIRECCION GENERAL DE AGUAS, *Información de cultivos e hidrología. Distrito de riegos, Oficina y zonas Agrarias*, 1975, (Ed.), Ministerio de Agricultura del Perú.
- ESCOBAR, D. y ROSSI, R., "Pronósticos de las disponibilidades de agua en la zona Piura Tumbes", *Actas del Seminario regional sobre hidrología de sequías*, Lima, Perú, 1972.
- FERREYRA, R., "Contribución al conocimiento de la flora costanera del norte peruano", *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 1957.
- GUEVARA PEREZ, E., *Recuperación de suelos salinos -sódicos en el Valle del Bajo Piura*, tesis para optar al título de ingeniero agrícola, Universidad Nacional Agraria, La Molina, Perú, 1968.
- HOOKE, R., *Encuesta y estimaciones sobre consumo de leña en la ciudad de Piura y Bajo Piura*, Zona Agraria I, Piura, 1970.
- INSTITUTO DE REFORMA Y PROMOCION AGRARIA, "Irrigación y colonización San Lorenzo", 1964, *Memoria*, Ministerio de Agricultura del Perú.
- INFORME DE LA COMISION TECNICA DE ESTUDIOS DE LA IRRIGACION Y COLONIZACION SAN LORENZO, mayo de 1968.
- INTERNATIONAL ENGINEERING COMPANY INC., *Integrated Development of Resources in the Tumbes-Chira-Piura River Basins of Peru*, vols., I, II y III, mayo de 1968.
- INTERNATIONAL ENGINEERING COMPANY INC., "San Lorenzo: Proyecto de drenaje", vol. II, *Planos*, 1968.
- LOUVERJATS, Vera S., *Estudio hidrológico del valle de Piura*, Ministerio de Agricultura del Perú, 1968.
- MALLEUX, P., *Reconocimiento forestal de la irrigación San Lorenzo-Piura*, 1975, Servicio Forestal y de Caza del Perú.
- MANUAL DE AGRICULTURA N° 60. "Diagnóstico y rehabilitación de los suelos", Instituto Nacional de Investigación, México, D.F., 1968.
- MONTERO T, Mario A., *Recuperabilidad de los suelos salinos - misceláneos - de la irrigación San Lorenzo Piura*, tesis para optar al título de ingeniero agrícola, Universidad Nacional Agraria, La Molina, Perú, 1971.
- MONTESINOS, O., *Informe sobre el programa de salinidad y drenaje*, Proyecto de Irrigación y Colonización San Lorenzo, 1964.
- MAC DONALD, "Miocene of the Sechura desert: Piura"; *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú*, 1er. Congreso Nacional de Geología, *Anales*, parte I, tomo 30, pp. 225 a 242, Lima, Perú, 1956.
- MERCADO, Lizandro, *Proyecto de derivación del río Quiroz a los valles de Chipillico y Piura*, Memoria descriptiva de la revisión y ampliación efectuada por la sección de estudios y diseño del proyecto estudiado por la comisión presidida por el Ing. Carlos Leigh G., Archivo Técnico de la Dirección General de Irrigaciones, Ministerio de Agricultura del Perú, 1942.
- MERCADO, Lizandro y PEREZ ALCAZAR A., *Informe del estudio económico del proyecto de derivación del río Quiroz al Piura*, Archivo Técnico de la Dirección General de Irrigaciones, Ministerio de Agricultura del Perú, 1951.
- OLAZABAL L. y LEON A., *Proyecto de derivación del río Quiroz al Piura. Memoria*, Archivo Técnico de la Dirección General de Irrigaciones, Ministerio de Agricultura del Perú, 1956.

- OFICINA NACIONAL DE LA REFORMA Y PROMOCION AGRARIA, "Venta preferencial de tierras", (art. 38), Proyecto de Irrigación y Colonización San Lorenzo, 1964.
- ROMERO M, Bravo H., *Estudio preliminar de producción y destino de leña y carbón de la Zona Agraria I*, Dirección General Forestal y de Caza, Lima, Perú, 1974.
- SERVICIO DE INVESTIGACION Y PROMOCION AGRARIA, *Estudio preliminar del potencial agrícola del Departamento de Piura*, Ministerio de Agricultura, División de Fomento Agrícola, Departamento de Ingeniería Agrícola, 1963.
- SERVICIO DE COOPERACION INTERAMERICANA DE PRODUCCION DE ALIMENTO (SCIPA), *Investigación de las propiedades físicas de los suelos de zona Yucay-Tejedones*, Proyecto Quiroz, Departamento de Ingeniería, 1959.
- TASAICO, H., *Reconocimiento forestal de la irrigación de San Lorenzo - Piura*, Servicio Forestal y de Caza, Lima, Perú, 1957.
- TORRES, V.C., *Informe sobre el proyecto de irrigación del río Quiroz*, Archivo Técnico de la Dirección General de Irrigaciones, Ministerio de Agricultura del Perú, 1953.
- VIDALON C., *Estudios de suelos del proyecto de irrigación Quiroz-Piura*, Archivo Técnico de la Dirección General de Irrigación, Ministerio de Agricultura del Perú, 1953.
- WATHSWORD, M., "Aguas subterráneas en el desierto de Sechura", *Ingeniería de petróleo*, año 4, Nº 1, 1956.
- WILLIAMS, M.A., *El Proyecto de irrigación del río Quiroz*, Archivo Técnico de la Dirección General de Irrigaciones, Ministerio de Agricultura del Perú, 1949.
- YAP SALINAS, Humberto, *Principio de flujo de agua en medio poroso*, Publicación Nº 33, Publirat, Universidad Nacional Agraria, La Molina, Perú, 1974.
- YAP SALINAS, Humberto, *Efectos del nivel freático en la producción de cultivos*, Publicación Nº 37, Publirat, Universidad Nacional Agraria, La Molina, Perú, 1974.

## Capítulo VIII

### CONFLICTOS POTENCIALES EN LA UTILIZACION DE TIERRAS Y AGUAS EN UNA CUENCA TROPICAL: EL PROYECTO HIDROELECTRICO GURI, VENEZUELA<sup>105</sup>

Jorge Rabinovich

#### *1. Localización y descripción general del sistema estudiado*

La cuenca del río Caroní, que es el tópico principal del presente estudio, está ubicada sobre la ribera derecha del río Orinoco, en el estado Bolívar, en una región conocida con el nombre de Guayana, al sudeste de Venezuela. El río Orinoco tiene un gasto medio anual de 33 000 m<sup>3</sup>/seg y la longitud del cauce principal es de 1 530 km, hasta su confluencia con el río Caroní. La cuenca de este último río abarca una superficie de aproximadamente 100 000 km<sup>2</sup> a lo largo de los cuales escurren 129 000 millones de m<sup>3</sup>, que representan un gasto medio de unos 4 100 m<sup>3</sup>/seg, resultado de una pluviosidad relativamente alta en toda la cuenca (2 600 mm anuales).

Las informaciones acumuladas durante 25 años (1949 - 1973) indican que el gasto anual medio máximo registrado es de 13 000 m<sup>3</sup>/seg, lo cual representa un promedio general anual de 4 900 m<sup>3</sup>/seg. Una particularidad del río Caroní respecto de los otros ríos guayanese es la de poseer un área hidrográfica muy vasta en su tramo superior, que por sí sola representa la mitad del total de la cuenca del río Orinoco. La hoya del río Caroní tiene una extensión aproximada de 160 km de norte a sur y de 100 km de este a oeste.

<sup>105</sup> Este capítulo es un resumen del estudio preparado por el autor para CEPAL/PNUMA, como parte del proyecto ADEMA; "Guri: Análisis de un potencial conflicto en el uso de recursos naturales en una cuenca tropical", Caracas, noviembre de 1976.

La región cuenta con unos 400 000 habitantes, 700/o de los cuales habita en la actualidad en las dos ciudades más importantes: Ciudad Bolívar, capital del estado Bolívar, y Ciudad Guayana, polo de desarrollo y centro industrial que se distingue por ser una de las ciudades más dinámicas del país. Para el año 2000, Ciudad Guayana tendrá aproximadamente un millón de habitantes y Ciudad Bolívar unos 350 000, por lo que ambas podrán dar cabida al 870/o de la población de la región, que, según se pronostica, alcanzó entonces a un millón y medio de habitantes.

a) *El clima*

Esta región posee un clima ecuatorial muy húmedo, en que la temperatura experimenta escasa variación anual, la radiación solar es casi constante, y no hay variaciones estacionales demasiado marcadas. La temperatura media anual fluctúa entre aproximadamente 20 grados centígrados en la Gran Sabana, hasta aproximadamente 28 grados centígrados cerca de la confluencia del río Caroní con el río Orinoco. La precipitación, uno de los factores que determina preponderantemente toda la dinámica hidrológica de la cuenca, muestra un claro incremento anual de norte a sur; esta fluctúa entre unos 1 000 mm a unos 4 000 mm, con un promedio anual en la cuenca de 2 600 mm. El período más lluvioso se extiende de mayo a noviembre inclusive, presentándose las precipitaciones máximas en julio y agosto. En general, la humedad relativa de la zona es alta (alrededor del 750/o) con una variación anual muy pequeña.

b) *Suelos y vegetación*

Los estudios de suelos realizados en la región son pocos, razón por la cual la información acerca de este recurso es escasa. Una de las regiones que más se ha estudiado es el Parque Nacional de la Gran Sabana y de ella se extraerán algunas conclusiones que se extrapolarán al resto de la cuenca del río Caroní.

Sobre la base de estas observaciones de la cuenca puede decirse que los suelos contienen gran cantidad de minerales y baja fertilidad natural, gran susceptibilidad a la erosión y otras características fisicoquímicas desfavorables, como ser, textura inadecuada, poca retención de humedad, acidez, etc. Sin embargo, tienen una buena composición física y se espera que con un manejo apropiado de ellos se pueda llegar a aprovechar las tierras de mediana calidad.

La baja fertilidad del suelo que determina los escasos rendimientos de las explotaciones agropecuarias no se contradice con la gran biomasa vegetal que, en condiciones naturales, se encuentra en la mayor parte de la cuenca del Caroní. Casi todos los elementos esenciales para este gran desarrollo de biomasa vegetal están en permanente estado de circulación, a un ritmo de renovación relativamente alto de manera que su permanencia en el suelo es realmente muy esporádica.

Según una clasificación de los suelos del Parque Nacional de la Gran Sabana realizada sobre la base de información geológica, climatológica, topográfica y agropecuaria, se reconocen cuatro tipos de unidades: la unidad A, constituida por los tepuys y áreas adyacentes; la unidad B, compuesta por las sabanas altas y bajas y los valles; la unidad C, formada por las áreas de valles excavados en material ígneo; y la unidad D, constituida por las tierras en pendientes. Si bien esta clasificación es parcial y restringida al Parque Nacional, permite tener una idea general de las características edafológicas de la cuenca del río Caroní.

#### *c) El sistema*

El sistema del río Caroní está compuesto por:

a) la presa Presidente Raúl Leoni, que tiene una capacidad de almacenaje cercano a los 18 000 millones de m<sup>3</sup> en su primera etapa y de 140 000 millones de m<sup>3</sup> embalsables en su etapa final;

b) la central hidroeléctrica Presidente Raúl Leoni, ubicada al pie de la presa, que en su primera etapa tenía una capacidad instalada de 2 millones kW, la cual en su etapa final ascenderá a 9 millones de kW instalados; y

c) la cuenca ubicada aguas arriba de la presa (80 000 km<sup>2</sup>), que en más de un 500/o está cubierta de bosques de valor comercial. La explotación de estos bosques y de las tierras habilitadas gracias al desbroce son actividades que podrían desarrollarse como consecuencia de la apertura de la región.

### *2. El propósito del estudio*

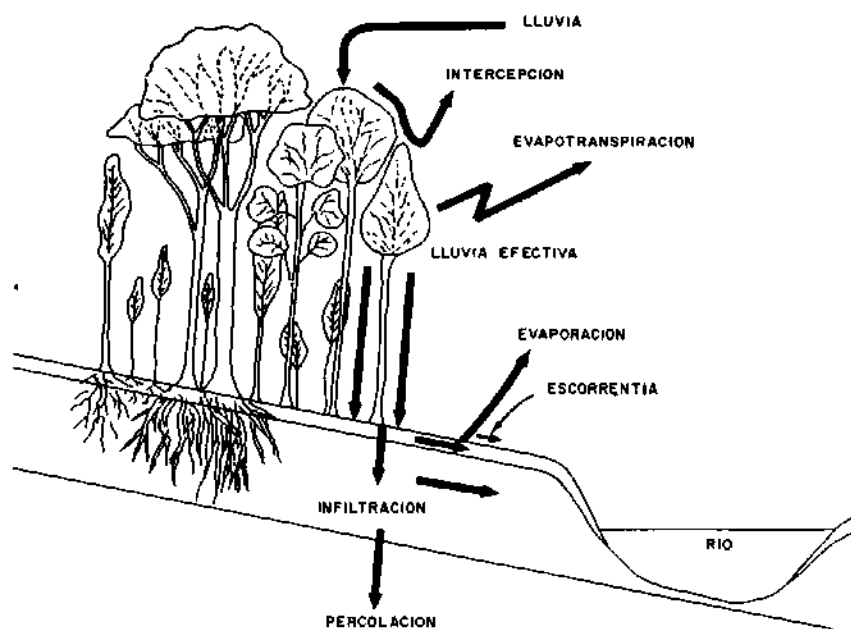
El estudio pretende evaluar la posible incompatibilidad entre los diversos usos de los recursos en la cuenca del río Caroní según el tipo de intervención que se efectúe en las tierras ubicadas aguas arriba de la presa Presidente Raúl Leoni. La explotación de los bosques de valor comercial, que es de tipo selectivo en esta zona, y la explotación agrícola de las tierras suponen una intervención en la cuenca superior que puede afectar la operación de la central hidroeléctrica ubicada aguas abajo, ya sea modificando la respuesta hidrológica de la cuenca —dado el cambio de la cubierta vegetal de ésta— o bien provocando la acumulación de sedimentos en el embalse que podrían afectar las tomas de las primeras turbinas. Ello contribuiría a reducir la vida útil de la presa, o al menos, su capacidad productiva, pues habría que abandonar algunas turbinas.

Dada la envergadura de los programas de desarrollo ya en marcha en esa región las incompatibilidades que podrían surgir entre los diferentes usos de la tierra en esta cuenca tropical no pueden analizarse sobre el terreno. Por esta razón, se analizan mediante un modelo de simulación que describe cuantitativamente la relación lluvia-vegetación-suelo-río, con la información y el tipo de circunstancia que caracterizan a la cuenca del río

Caroní. (Véase el gráfico VIII-1.) El modelo simula la afluencia de caudales de los ríos que aportan sus aguas al embalse dado un cierto volumen de precipitaciones en la región de la cuenca. Debido al carácter del conflicto potencial entre el uso de la tierra y la producción hidroeléctrica, la simulación se basa en estrategias de intervención en la cuenca que captan los posibles cambios producidos en la cobertura vegetal. Las posibles estrategias de intervención corresponden, de un lado, al ritmo de explotación maderera en un lapso previsto de 50 años, y de otro, a la proporción de la superficie dedicada a ese tipo de explotación que se destina a la producción agropecuaria. Si bien el modelo contiene muchos supuestos simplificadores y su nivel de agregación es apreciable, permite un análisis sistemático de los principales interrogantes que se plantean.

Gráfico VIII-1

DIAGRAMA ESQUEMATICO DEL CICLO HIDROLOGICO



### 3. La metodología

El modelo básico de simulación es de escurrimiento y está constituido por funciones de intercepción de lluvias, infiltración, percolación, evapotranspiración y erosión, que permiten establecer las relaciones de la dinámica del agua desde que cae en forma de lluvia hasta la aparición como vertiente que llega al río. Está concebido como un modelo puntual que relaciona los fenómenos lluvia-vegetación-suelo-río. El gráfico VIII-2 refleja las funciones utilizadas en el modelo lluvia-vegetación-suelo. Calculados los parámetros puntuales de interés, se postula que éstos tienen validez dentro de celdas de 55.5 x 55.5 km o de medio grado de longitud. (A modo de ilustración de esta representación en celdas, véase el gráfico VIII-3, en que figura la distribución de la biomasa.) En cada una de estas celdas, se vuelca el cálculo secuencial (día a día) y la información climatológica, hidrológica, topográfica y de vegetación; luego, se integra el comportamiento de toda la cuenca siguiendo el mosaico de celdas. Una vez introducidas las demoras más representativas (las de la escorrentía, infiltración y percolación) en la integración espacial del modelo hidrológico se obtuvieron valores diarios simulados bastante aceptables al ser comparados con los valores diarios de campo medidos.

Dada la aparente importancia que tendría, desde el punto de vista de la adopción de decisiones, la intervención en la cobertura vegetal, y el uso que se dé a la tierra, estas dos variables se utilizaron como variables de acción. Se define como acción A una medida de la tasa de explotación maderera en un lapso de 50 años, que se avalúa según la superficie sometida a explotación. El valor 1 de la acción A significa que la superficie que se somete a explotación maderera se mantiene constante al valor de 1975 durante los 50 años de la simulación; el valor 2 de la acción A supone que dicha superficie se duplica en ese lapso y así sucesivamente hasta el valor 5. La acción B se define como la proporción de la superficie correspondiente a la explotación maderera que se destina a la explotación agropecuaria; se utilizaron cinco niveles de la acción B con los valores 0, 20, 40, 60 y 80, en que estos números representan los porcentajes de la superficie destinada a la explotación maderera que se dedican a la explotación agropecuaria. Los cinco niveles de intensidad de la acción A y los cinco niveles de intensidad de la acción B producen un total de 25 combinaciones denominadas estrategias de intervención. (Véase el cuadro VIII-1.) Para cada una de las 25 estrategias y como resultado del modelo se evalúan los caudales del río, la erosión, el volumen de madera producido, el volumen de producción agropecuaria y los beneficios netos generados por cada una de dichas actividades.

Una vez realizados todos los cálculos hidrológicos y económicos necesarios para el programa de simulación se estima para cada año de simulación la energía mensual producida de acuerdo con los caudales de llegada y los niveles del embalse; de esta manera, al final de cada año se puede calcular la producción hidroeléctrica media mensual.

Gráfico VIII-2

# CUENCA DEL RIO CARONI : PRINCIPALES RELACIONES FUNCIONALES DEL MODELO PUNTUAL LLUVIA - VEGETACION - SUELO

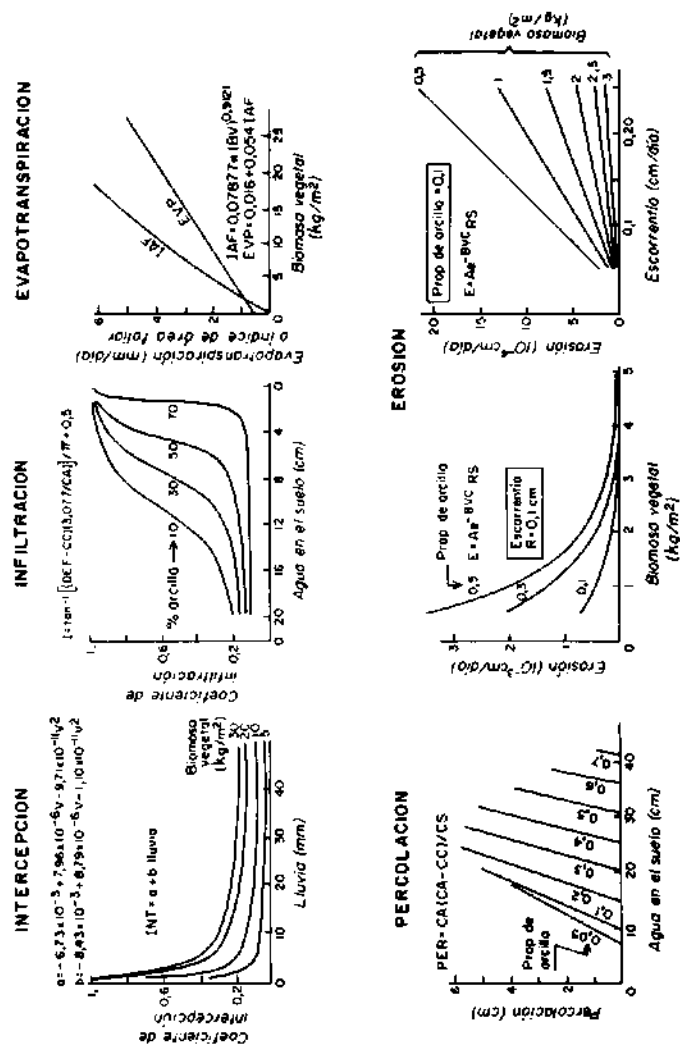
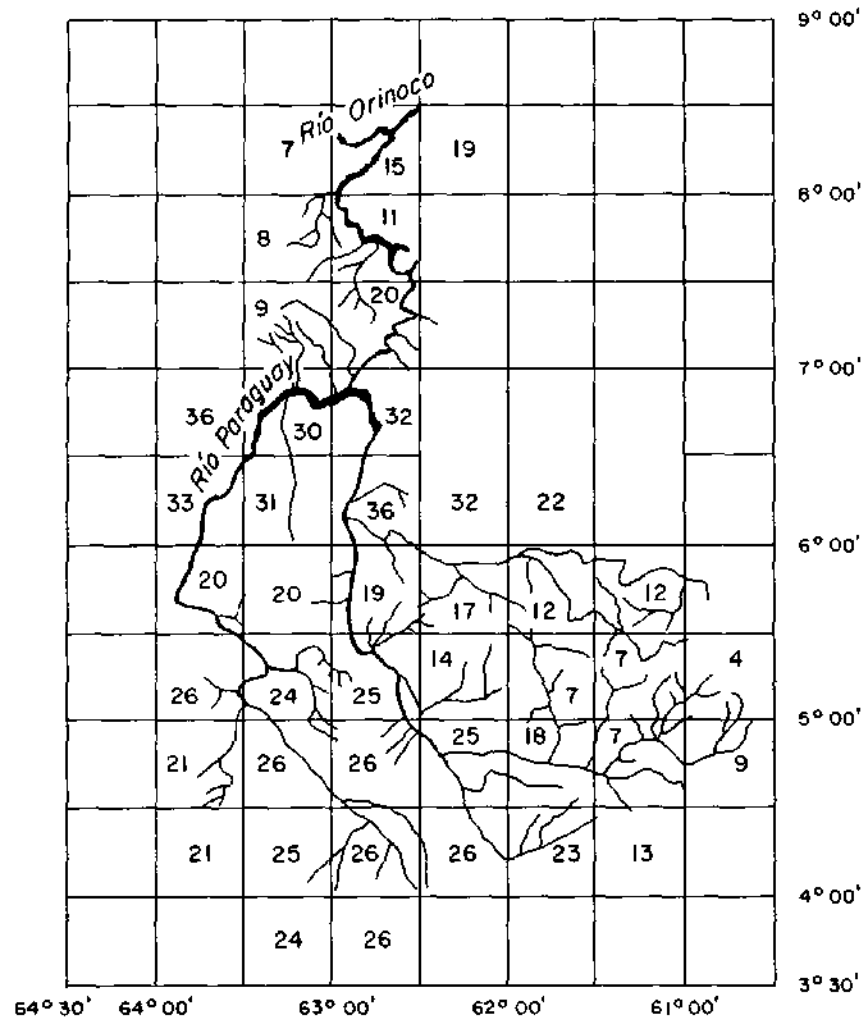


Gráfico VIII-3

CUENCA DEL RIO CARONI  
DISTRIBUCION DE LA BIOMASA VEGETAL  
(kg/m<sup>2</sup>)



Cuadro VIII-1

CUENCA DEL RIO CARONI: USO DE LA TIERRA SEGUN ESTRATEGIAS  
OPTATIVAS DE EXPLOTACION AGRICOLA Y MADERERA

| Nº de la opción | Acción A (silvicultura)                               |                                                           |                                                               | Acción B (agricultura)                           |       |                                                                                         |       |       |
|-----------------|-------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|
|                 | Tasa máxima de desarrollo alcanzada (miles de ha/año) | Superficie total desarrollada en 50 años (millones de ha) | Nº de años para desarrollar toda la zona (9.3 millones de ha) | Superficie explotada en 50 años (millones de ha) |       | Nº de la opción y proporción de la superficie de bosques habilitada para la agricultura |       |       |
|                 |                                                       |                                                           |                                                               | 1                                                | 2     | 3                                                                                       | 4     | 5     |
|                 |                                                       |                                                           |                                                               | 00/o                                             | 200/o | 400/o                                                                                   | 600/o | 800/o |
| 1               | 75                                                    | 3.75                                                      | 124                                                           | 0.00                                             | 0.75  | 1.50                                                                                    | 2.25  | 3.00  |
| 2               | 150                                                   | 7.50                                                      | 62                                                            | 0.00                                             | 1.30  | 2.60                                                                                    | 3.90  | 5.20  |
| 3               | 225                                                   | 9.30                                                      | 43                                                            | 0.00                                             | 1.86  | 3.72                                                                                    | 5.58  | 7.44  |
| 4               | 300                                                   | 9.30                                                      | 37                                                            | 0.00                                             | 1.86  | 3.72                                                                                    | 5.58  | 7.44  |
| 5               | 375                                                   | 9.30                                                      | 35                                                            | 0.00                                             | 1.86  | 3.72                                                                                    | 5.58  | 7.44  |

En los 50 años de simulación, utilizando las estrategias de mayor intervención, el caudal de los ríos se hace torrencial —efecto por lo demás conocido— y cuando se evalúa dicho caudal según su promedio mensual, se observan aumentos en los períodos de lluvia y disminución en los períodos secos. En el gráfico VIII-4 se puede apreciar y evaluar este cambio a través de sus dos componentes principales: el agua que escurre superficialmente y la que escurre subsuperficialmente, es decir, dentro del suelo después de haberse infiltrado. Se observa claramente que en particular el agua infiltrada manifiesta el mayor aumento, mientras que el agua superficial disminuye y que los dos componentes de los caudales anotan un significativo aumento en la época de las lluvias. De todas maneras, el volumen total anual, particularmente en los primeros años de la intervención, aumenta progresivamente a medida que la simulación acrecienta la intensidad de la intervención en la simulación en la cobertura vegetal. La reducción de la cobertura vegetal, fundamentalmente a través de cambios de intercepción y transpiración es el elemento que más influye en los cambios observados y se realiza.

En el cuadro VIII-2 se puede observar el incremento progresivo del caudal medio mensual durante el año 50 de simulación, según las diferentes estrategias de intervención. Como consecuencia inmediata de la reducción de la vegetación y del aumento de la escorrentía superficial se presenta otro fenómeno de suma importancia: el aumento de la erosión.

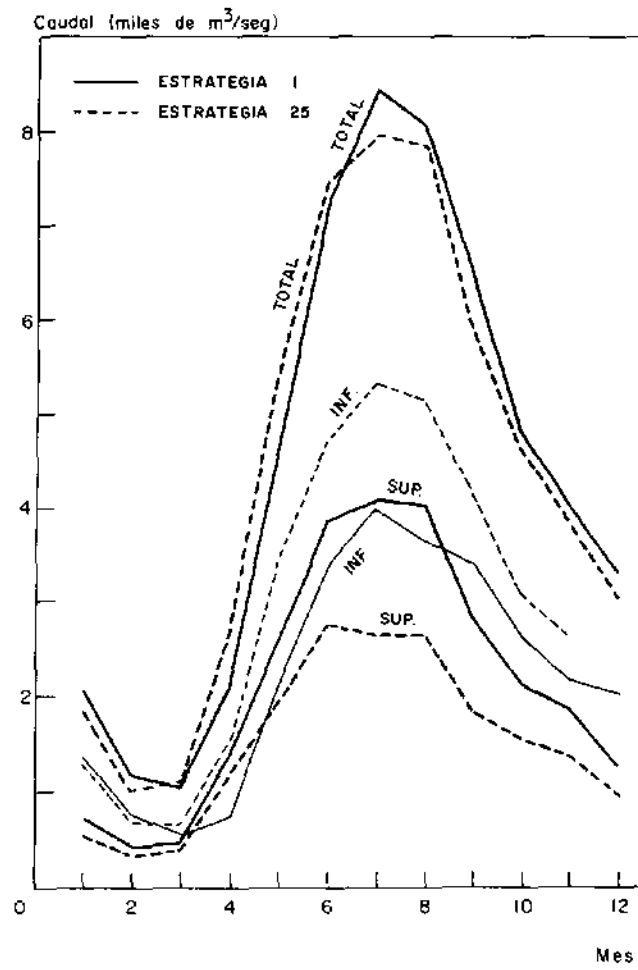
En el cuadro VIII-3 figuran los valores del material acumulado durante el proceso de erosión, durante los 50 años de simulación, para las 25 estrategias de intervención. También en este caso puede observarse un incremento progresivo de la erosión a medida que aumenta la intervención en la cuenca. Este efecto es tan directo, que se decidió utilizar la variable erosión como un indicador del grado de deterioro ecológico. Si se adjudica el valor máximo de deterioro a la estrategia de intervención 25 —que es la

Cuadro VIII - 2

CAUDAL MEDIO MENSUAL EN EL AÑO 50 DE SIMULACION  
(m<sup>3</sup>/seg)

| Acción B | Acción A |       |       |       |       |
|----------|----------|-------|-------|-------|-------|
|          | 1        | 2     | 3     | 4     | 5     |
| 1        | 4 964    | 4 984 | 4 989 | 4 989 | 4 989 |
| 2        | 5 110    | 5 223 | 5 250 | 5 250 | 5 250 |
| 3        | 5 356    | 5 529 | 5 675 | 5 675 | 5 675 |
| 4        | 5 677    | 6 096 | 6 224 | 6 224 | 6 224 |
| 5        | 6 073    | 6 701 | 6 905 | 6 905 | 6 905 |

CAUDALES TOTALES Y SUS COMPONENTES (AGUA DE ESCORRENTIA SUPERFICIAL Y AGUA INFILTRADA) EN EL AÑO 50 DE SIMULACION PARA LAS ESTRATEGIAS 1 Y 25



Cuadro VIII - 3

MATERIAL DE EROSION TOTAL ACUMULADO EN 50 AÑOS  
(Millones de m<sup>3</sup>)

| Acción B | Acción A |        |        |        |        |
|----------|----------|--------|--------|--------|--------|
|          | 1        | 2      | 3      | 4      | 5      |
| 1        | 1 001    | 1 204  | 1 365  | 1 466  | 1 534  |
| 2        | 2 610    | 3 718  | 4 596  | 5 145  | 5 519  |
| 3        | 4 679    | 6 920  | 8 701  | 9 814  | 10 573 |
| 4        | 6 830    | 10 220 | 12 921 | 14 610 | 15 761 |
| 5        | 9 068    | 13 624 | 17 261 | 19 536 | 21 086 |

que con mayor rapidez afecta la mayor parte de la cuenca cuando se reemplazan los bosques naturales por cultivos anuales y pastos— se pueden expresar las demás estrategias de intervención en función de la erosión como un porcentaje de dicha estrategia de intervención máxima (véase el cuadro VIII-4).

A medida que aumenta la intervención en la vegetación, la erosión aumenta apreciablemente. El volumen de material arrastrado por el río aumenta de 12.8 millones de m<sup>3</sup> cuando no hay intervención alguna a 743 millones de m<sup>3</sup> para el año 50 de simulación en la estrategia 25, lo cual representa un incremento de 58 veces. La magnitud del aumento de la erosión con el grado de intervención en la cuenca es tal, que la acumulación progresiva de los sedimentos en el fondo del embalse supera todo pronóstico hecho durante la construcción del dique.

Cuadro VIII - 4

INDICADOR DE DETERIORO ECOLOGICO BASADO EN LA EROSION  
TOTAL ACUMULADA EN 50 AÑOS  
(100 = máxima)

| Acción B | Acción A |      |      |      |       |
|----------|----------|------|------|------|-------|
|          | 1        | 2    | 3    | 4    | 5     |
| 1        | 4.7      | 5.7  | 6.5  | 6.9  | 7.3   |
| 2        | 12.4     | 17.6 | 21.8 | 24.4 | 26.2  |
| 3        | 22.2     | 32.8 | 41.3 | 46.5 | 50.1  |
| 4        | 32.4     | 48.5 | 61.3 | 69.3 | 74.7  |
| 5        | 43.0     | 64.6 | 81.9 | 92.6 | 100.0 |

De acuerdo con las dimensiones del embalse, y con la relación altura-volumen del mismo, las estimaciones previas a la construcción del dique aseguraron una vida útil del orden de 300 años. Sin embargo, cuando se hizo esta estimación se supuso que no habría ningún cambio importante en la vegetación de la cuenca del río Caroní.

Los aumentos de erosión se evaluaron en función de la vida útil del dique según las diferentes condiciones de simulación. En el cuadro VIII-5 se observa el enorme efecto de la erosión sobre el funcionamiento de la presa, a través del número de turbinas activas en los diferentes años de simulación. En efecto, a medida que aumenta el grado de deterioro de la cuenca evaluado según el indicador erosión, disminuye progresivamente el número de turbinas activas en un año dado, y en el caso extremo que se produzca una máxima tasa de erosión, antes de que se cumpla el año 50 de la simulación, el sedimento arrastrado alcanza la cota de las últimas seis turbinas que estaban activas hasta ese año.

En el gráfico VIII-5 se pueden observar las isolíneas de producción hidroeléctrica en GWH del año 50 de simulación para las 25 estrategias de intervención. Se puede observar claramente cómo las curvas muestran una reducción en la producción hidroeléctrica hacia los niveles más altos de intensidad de la acción A y de la acción B.

Cuadro VIII - 5

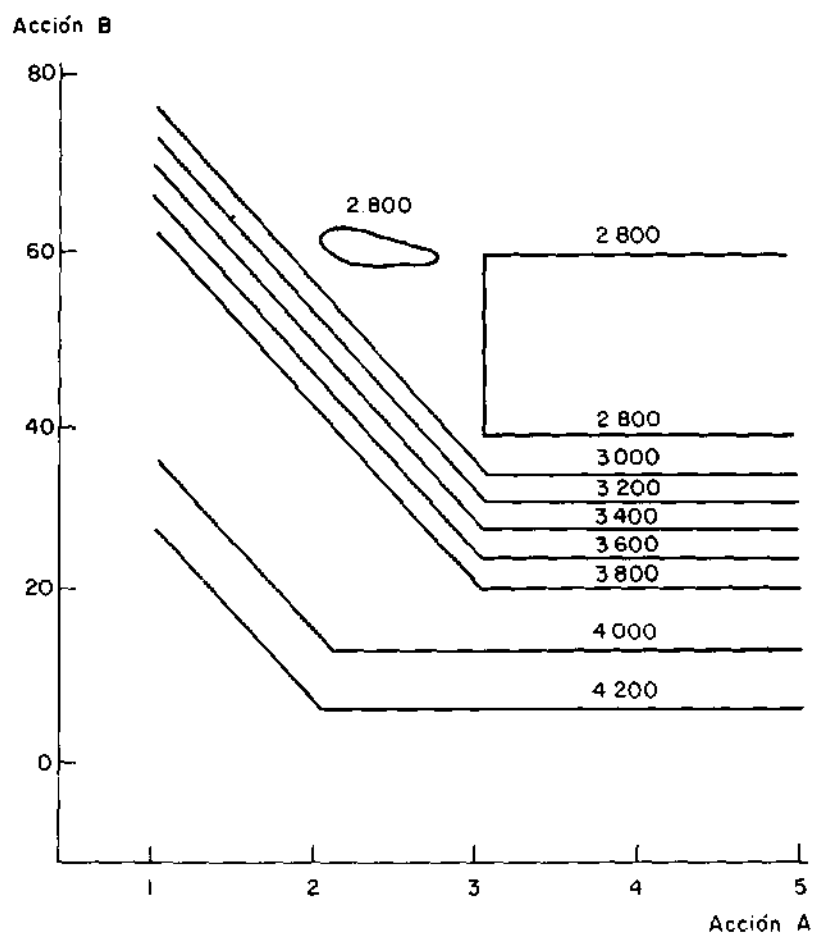
ANOS SIMULADOS EN QUE EL NUMERO DE TURBINAS ACTIVAS QUEDA REDUCIDO A DIEZ Y A SEIS, PARA LAS 25 ESTRATEGIAS DE INTERVENCION

|          |   | <i>Reducción a diez</i> |          |          |          |          |          |   | <i>Reducción a seis</i> |          |          |          |          |
|----------|---|-------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|---|-------------------------|----------|----------|----------|----------|
|          |   | <i>Acción A</i>         |          |          |          |          |          |   | <i>Acción A</i>         |          |          |          |          |
|          |   | <i>1</i>                | <i>2</i> | <i>3</i> | <i>4</i> | <i>5</i> |          |   | <i>1</i>                | <i>2</i> | <i>3</i> | <i>4</i> | <i>5</i> |
| Acción B | 1 | -                       | -        | -        | -        | -        | Acción B | 1 | -                       | -        | -        | -        | -        |
|          | 2 | -                       | 44       | 40       | 37       | 35       |          | 2 | -                       | -        | -        | -        | -        |
|          | 3 | 40                      | 35       | 32       | 30       | 29       |          | 3 | -                       | -        | 48       | 45       | 43       |
|          | 4 | 35                      | 31       | 28       | 27       | 25       |          | 4 | -                       | 46       | 42       | 39       | 37       |
|          | 5 | 31                      | 28       | 26       | 24       | 23       |          | 5 | 48                      | 41       | 38       | 35       | 33       |

*Nota:* El guión significa que para el año 50 de simulación el número de turbinas activas aún no se había reducido al número especificado. Para el año 50 de simulación el número de turbinas activas se reduce a cero para la estrategia 25 (A = 5, B = 5).

Desde luego en lo anterior hay implícita una suposición simplificadora sumamente importante cual es, que posiblemente, desde un punto de vista operacional, no se justifica paralizar las turbinas del dique. Es de esperar

**CUENCA DEL CARONI: PRODUCCION HIDROELECTRICA EN EL  
AÑO 50 DE SIMULACION CORRESPONDIENTE A LAS  
25 ESTRATEGIAS DE INTERVENCION (GWH)**

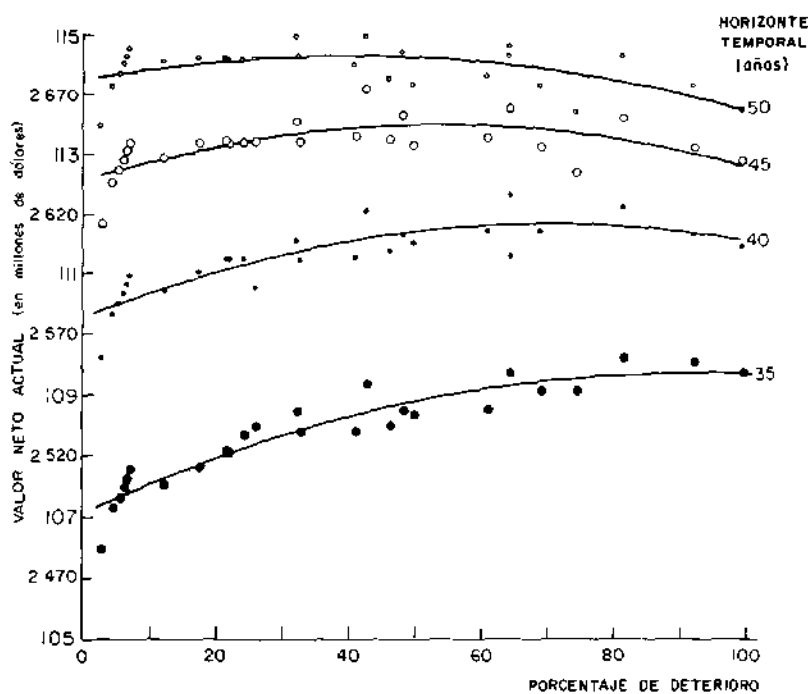


que, aunque las consecuencias fueran similares a las de las estrategias de alto grado de intervención, la operación del dique pueda mantenerse mediante procedimientos de limpieza o purga que, aunque signifiquen incurrir en ciertos gastos, permitan el funcionamiento de las turbinas por un tiempo mucho mayor que el que se observa en este modelo de simulación.

Una forma de evaluar las consecuencias económicas de este tipo de análisis de las incompatibilidades que podría plantear el manejo de los recursos naturales es representar los beneficios netos totales en función del grado de deterioro ecológico. Así los resultados en el gráfico VIII-6 se representaron utilizando como indicador de ese deterioro el coeficiente que figura en el cuadro VIII-3, sobre la base de la cantidad total de mate-

Gráfico VIII-6

DETERIORO ECOLOGICO DE LA CUENCA DEL CARONI  
EXPRESADO EN FUNCION DEL VALOR NETO ACTUAL  
DEL DESARROLLO ENERGETICO, AGRICOLA Y  
FORESTAL SEGUN CUATRO HORIZONTES TEMPORALES



U: BENEFICIO NETO ACUMULADO DURANTE 10 AÑOS DESCONTADO AL 8%

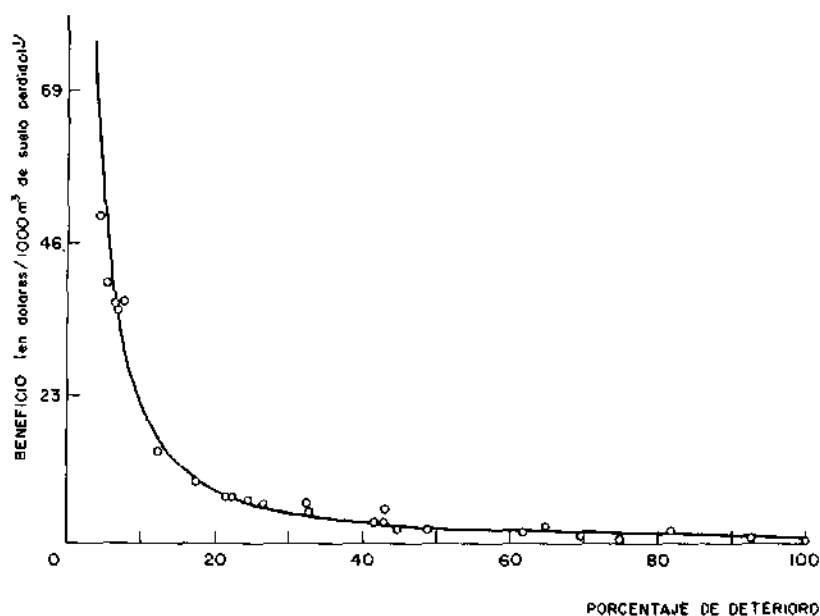
rial arrastrado por la escorrentía. La curva más adecuada se dibujó aplicando cuadrados mínimos a los valores resultantes de las simulaciones, con cuatro diferentes horizontes temporales. Mediante un análisis de la relación entre los beneficios netos totales y el grado de deterioro ambiental, se puede calcular el punto en que los beneficios netos alcanzan su valor máximo. A continuación se indican los resultados obtenidos:

| <i>Horizonte temporal<br/>(Años)</i> | <i>Grado de deterioro ecológico<br/>que produce el máximo benefi-<br/>cio neto total<br/>(Porcentajes)</i> |
|--------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 50                                   | 40.8                                                                                                       |
| 45                                   | 54.1                                                                                                       |
| 40                                   | 70.5                                                                                                       |
| 35                                   | 92.5                                                                                                       |

Esto nos muestra que si el horizonte temporal hubiera sido relativamente corto, del orden de 35 años, una decisión sobre las opciones de uso de la tierra basada exclusivamente en la relación costo-beneficio, habría indicado que se utilizara la cuenca al máximo, y de esa manera el deterioro ecológico habría sido mayor. A medida que el horizonte temporal aumenta hasta llegar a los 50 años, se siguen obteniendo beneficios netos máximos, con un grado de deterioro ecológico cada vez menor. También pueden considerarse las consecuencias de este tipo de decisiones evaluando los incrementos temporales del beneficio neto que se obtiene al aumentar el grado de deterioro ecológico, en relación con dicho deterioro. En el gráfico VIII-7 se representa el beneficio neto logrado por cada m<sup>3</sup> de suelo perdido a medida que se incrementa el deterioro ecológico. Dicho beneficio disminuye notoriamente después de iniciada la explotación de la cuenca. En otras palabras, una vez alcanzado el 100% de deterioro ambiental, los incrementos de beneficio neto por cada m<sup>3</sup> adicional de suelo perdido se hacen cada vez más insignificantes, de donde se deduce que desde el punto de vista ecológico el costo sería sumamente alto en comparación con los beneficios obtenidos. Según este análisis, aparentemente sería más aconsejable aplicar cualquiera de las primeras cinco estrategias de intervención, en virtud de las cuales puede desarrollarse una explotación maderera más o menos intensa, pero no una explotación agropecuaria.

Se debe subrayar que la toma de decisiones en el manejo de los recursos naturales, particularmente a mediano y largo plazo, no se basa exclusivamente en la relación beneficio-costo. Diversos factores tales como la producción agropecuaria, la producción hidroeléctrica, el empleo, el desarrollo regional, los problemas de frontera y en general las políticas de desarrollo,

**CUENCA DEL RIO CARONI: BENEFICIO NETO POR CADA METRO  
CUBICO DE SUELO PERDIDO A MEDIDA QUE AUMENTA  
EL GRADO DE DETERIORO ECOLOGICO**



1/ BENEFICIO NETO ACUMULADO DURANTE 50 AÑOS DESCONTADO AL 8%

pueden primar sobre los criterios de beneficio-costos de modo que se adopten decisiones radicalmente diferentes.

#### 4. Conclusiones y recomendaciones

La elaboración de los modelos puso de manifiesto los principales vacíos de la información. En el caso particular de la cuenca del río Caroní resultó especialmente desfavorable la falta de datos relativos a las características del suelo.

Lo anterior permite concluir que es posible elaborar modelos aunque se cuente con muy escasa información. Los modelos de simulación de los sistemas ecológicos permiten integrar los recursos naturales y los aspectos

económicos y sociales. Es decir, es posible lograr una adecuada interdependencia entre los aspectos ecológicos, físicos y humanos.

Los modelos de simulación como el que se elaboró para la cuenca del río Caroní sirven tanto para evaluar los efectos ecológicos de las obras de desarrollo como para planificar el manejo de los recursos naturales.

Queda demostrado que la utilización de estos modelos permite vislumbrar consecuencias insospechadas; en el caso particular del presente modelo se pone de manifiesto la importancia del horizonte temporal en la planificación del uso de los recursos naturales, así como el hecho de que a medida que aumenta la intensidad de la intervención en la cuenca, los beneficios unitarios van disminuyendo y, por lo tanto, los costos ecológicos son cada vez más altos.

Tomando como criterio la relación beneficio-costos se puede maximizar el beneficio neto sin necesidad de recurrir al máximo grado de intervención en la cuenca.

De la experiencia obtenida con este modelo pueden formularse las siguientes recomendaciones:

a) Demostrada la utilidad de los modelos de simulación para analizar diversas opciones de manejo de los recursos naturales en la zona de la cuenca del río Caroní, se recomienda llevar adelante estudios similares más detenidos y basados en datos más confiables.

b) Conjuntamente con la sugerencia anterior, se recomienda llevar adelante estudios en el terreno para llenar los vacíos de información que han quedado de manifiesto a través del uso de los modelos, particularmente en lo relativo a: i) características de los suelos; ii) mejor conocimiento de la vegetación; iii) mejoramiento de los registros climatológicos, y iv) iniciación del estudio de las cuencas experimentales.

Demostrada la importancia y las ventajas de analizar estos problemas de manera integral, se recomienda la formación de equipos de trabajo interdisciplinarios para llevar adelante estos estudios, a fin de coordinar los esfuerzos de agrónomos, biólogos, economistas, expertos forestales, geógrafos, ingenieros y matemáticos.

Hasta que se elaboren modelos más detallados de la cuenca del río Caroní y a partir de los resultados de este modelo, se puede sugerir que lo más conveniente sería autorizar cualquier grado de explotación maderera siempre que se cumplan dos requisitos: i) que la extracción de madera siga haciéndose, como hasta ahora, de manera exclusivamente selectiva, y ii) que no se dedique tierra a usos agropecuarios.

## BIBLIOGRAFIA

- BEARD, J.S., *The Savanna Vegetation of Northern Tropical America. Ecological Monographs*, 23 (2), 1953.
- CORPORACION VENEZOLANA DE GUAYANA, *Electrificación de Caroní*, Informe Anual, Caracas, 1974.
- EWEL, J.J. y MADRIZ, A., *Zonas de vida de Venezuela*, Memoria explicativa sobre el mapa ecológico, Editorial Sucre, Caracas, 1968.
- GONDELLES, R. (ed.), "Parque Nacional Canaima. La Gran Sabana -- Plan rector", Caracas, 1974.
- HIDALGO, A., *Métodos modernos de riego de superficie*, Aguilar S.A. de Ediciones, Madrid, 1971.
- HUEK, K., *Mapa de vegetación de la República de Venezuela*, Instituto Forestal, 1968.
- SALAZAR, L.C., *Fenómeno de sedimentación del río Caroní con relación a la vida útil de la represa Guri*, informe interno, EDELCA, 1962.
- VILA, P., *Geografía de Venezuela*, t. 1; Dirección de Cultura y Bellas Artes, Departamento de Publicaciones, Ministerio de Educación, Tipografía Vargas, S.A., Caracas, 1960.

## Capítulo IX

### MODIFICACION DE UN ECOSISTEMA TROPICAL: EL PROYECTO DE CONTROL DE CRECIDAS Y DRENAJE LA CHONTALPA, MEXICO<sup>106</sup>

Rosario Casco de Avilés

#### *Introducción*

Ante los problemas que empezaba a ocasionar la concentración demográfica en la zona central del país, el Gobierno de México decidió en 1940 auspiciar el desplazamiento de las actividades económicas hacia las zonas tropicales de la costa sudoriental. Con ese fin concibió un plan de desarrollo regional que tomaba como base las principales cuencas hidrológicas. Una de estas zonas era la planicie del Estado de Tabasco, bañada principalmente por los ríos Grijalva y Usumacinta, de clima caluroso (la temperatura varía entre 25 y 20° C con pocos cambios apreciables) y precipitación abundante (con una media anual de 2 200 mm), especialmente a causa de la influencia directa de los ciclones tropicales, que generan intensas lluvias.

<sup>106</sup> Este capítulo es el resumen de un informe preparado por la autora para CEPAL/PNUMA como parte del Proyecto ADEMA: Manejo de Agua en un Ecosistema Tropical Mexicano: La Chontalpa, Centro de Ecodesarrollo, México, D.F., febrero de 1977. El estudio se basa en gran parte en las siguientes publicaciones: David Barkin, *Desarrollo Regional y Reorganización Campesina. La Chontalpa como Reflejo del Problema Agrario Mexicano*, Centro de Ecodesarrollo, Editorial Nueva Imagen, México, 1978. Rosario Casco de Montoya, *Développement et environnement dans le tropique mexicain. Etude de l'aménagement de La Chontalpa*, Ministère de l'Éducation Nationale, Ecole Pratique des Hautes Etudes, VI Section - Sciences Économiques et Sociales, Centre International de Recherche sur l'Environnement et le Développement, *Travaux et Etudes* N° 2, París, 1974.

El problema principal que planteó el desarrollo de la región fue el manejo de las aguas del sistema fluvial Grijalva—Usumacinta cuya área de influencia se detalla a continuación.<sup>107</sup>

| <i>Sistema fluvial</i> | <i>Área de la<br/>cuenca (km<sup>2</sup>)</i> | <i>Caudal medio<br/>(m<sup>3</sup>/seg.)</i> |
|------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------------|
| Usumacinta             | 70 800                                        | 2 200                                        |
| Grijalva               | 41 700                                        | 1 080                                        |
| El Tonalá              | 6 000                                         | 185                                          |
| <i>Total</i>           | <i>118 500</i>                                | <i>3 465</i>                                 |

El río Grijalva ha experimentado considerables cambios fluviales en la región, provocando desastrosas inundaciones, particularmente en La Chontalpa<sup>108</sup>. En 1675, aprovechando una rompiente que empezaba a formarse, se desvió el río hacia el oriente; sin embargo, dado que los bajos carecían de suficiente pendiente, el curso del río que se formó ha seguido cambiando constantemente. Esta desviación del Grijalva, forzada por la acción del hombre, ha originado una serie de rompientes que han hecho aún más irregular el curso del río. Además de los sistemas fluviales mencionados, existe una extensa zona de lagos, lagunas, manglares y pantanos costeros. Todo el sistema se caracteriza por la salinidad de sus aguas y constituye una zona de transición entre el agua marina del Golfo y el agua dulce del interior.

Las desviaciones del río, combinadas con la alta precipitación pluvial concentrada en cuatro meses del año, provocaban desbordamientos año tras año, con lo cual se perdían cuantiosos recursos y se perjudicaba a una población de alrededor de 250 000 personas. La capacidad del cauce en la cuenca baja no superaba los 4 000 m<sup>3</sup>/seg y a veces las avenidas alcanzaban a los 6 000 m<sup>3</sup>/seg; las grandes inundaciones, catalogadas como normales, acontecían aproximadamente cada cinco años, y las extraordinarias, cada 10 años.<sup>109</sup> La última gran inundación, acaecida en 1955, afectó la ciudad de Villahermosa, donde el agua alcanzó a 14 metros de altura.

En 1951, después de una serie de inundaciones que habían ocasionado muchas pérdidas a la economía regional, el gobierno convocó a todas las Secretarías de Estado a una reunión para tratar de poner fin a esta situación, e, influenciado por el éxito obtenido por la autoridad del Valle del Tennessee en los Estados Unidos, concibió un esquema de desarrollo regio-

<sup>107</sup> R.C. West, N.P. Panty y B.G. Thom, *The Tabasco Lowlands of Southern Mexico*, Louisiana State University Press, Baton Rouge, 1969, pp. 19-31.

<sup>108</sup> Luis Echegaray Bablot, "Somera descripción de las condiciones hidrológicas de la Cuenca Grijalva-Usumacinta", *Ingeniería hidráulica en México*, Secretaría de Recursos Hidráulicos, 1956, vol. I, N° 1, p. 29.

<sup>109</sup> *Ibid.*, "Las inundaciones en Tabasco", vol. X, N° 1, abril-junio de 1956, p. 17.

nal sobre la base de las cuencas hidrológicas.<sup>110</sup> Por la índole del problema, se encomendó a la Secretaría de Recursos Hidráulicos (SRH) efectuar los estudios pertinentes. A tal fin se creó la Comisión del río Grijalva, a la cual se le dio una organización relativamente descentralizada dotándola de los medios necesarios para efectuar el desarrollo integral de las cuencas de los ríos Grijalva y Usumacinta, que constituían la más grande fuente potencial de riqueza agropecuaria e hidrológica del país. Además se le otorgaron amplias facultades para planificar, proyectar y construir todas las obras de defensa de los ríos; las de aprovechamiento de agua para el riego y producción de energía; el desarrollo de la ingeniería sanitaria, la construcción de vías de comunicación y la creación y ampliación de centros de población. La responsabilidad de la Comisión también abarcaba los terrenos industrial, agrícola y de colonización, siempre y cuando fuera útil al desarrollo integral de las cuencas. Para cumplir dichos objetivos, se le asignó presupuesto propio.

Después de realizar los estudios preliminares, la Comisión recomendó que en el planeamiento del desarrollo de la cuenca se tomara en consideración lo siguiente:

- a) "Que mientras haya peligro de inundaciones será imposible el desarrollo de la parte baja que es la más rica de la cuenca";
- b) "La forma en que se combinan las lluvias locales abundantes de la cuenca baja, con las avenidas originales en la alta, determina la magnitud de las inundaciones";
- c) "No sólo la magnitud, sino también el régimen de avenidas máximas de estos caudalosos ríos tienen influencia decisiva en las inundaciones".<sup>111</sup>

Del análisis de estas consideraciones se concluyó que para planificar correctamente la Cuenca del Grijalva era necesario construir presas reguladoras en la parte alta del río y obras de defensa en su parte baja (bordos, cauces de alivio, cortes, etc.) para evitar las inundaciones y conservar la navegación en su cauce principal.

"En efecto: suponiendo que en virtud de determinadas consideraciones de carácter económico, se decidiera dejar de construir las presas reguladoras, pero se iniciaran obras de defensa en la parte baja a fin de cultivar determinada región expuesta a inundarse, es obvio que los agricultores harían una inversión insegura, puesto que quedarían en peligro de perderla, y el monto de estas pérdidas podría ser más cuantioso que el costo de las presas."<sup>112</sup>

<sup>110</sup> Arturo Núñez Jiménez, *Organización y producción agropecuaria en el Plan Chontalpa*, tesis profesional, Escuela Nacional de Economía, Universidad Nacional de México, D.F., 1975, p. 42.

<sup>111</sup> Luis Echegaray B., *op. cit.*, p. 11.

<sup>112</sup> *Ibid.*, "Algunas consideraciones sobre la planeación de las obras en la Cuenca del Grijalva", *Ingeniería hidráulica en México*, vol. II, No 1, 1957, p. 9.

## I. PROGRAMA DE DESARROLLO DEL SISTEMA GRIJALVA-USUMACINTA

El sistema total comprende 11.85 millones de hectáreas y su estructura puede observarse en el mapa IX-1, con el nombre de Sistema A. Después de realizar los estudios de la zona, concluidos en 1959, se decidió construir la presa reguladora Netzahualcóyotl, que constituiría la primera realización, y la más importante, del conjunto de obras de defensa que se llevaría a cabo en virtud de un vasto programa destinado fundamentalmente al desarrollo integral de la cuenca baja del Grijalva. La presa está situada en un estrechamiento del río a 328 km de su desembocadura en el Golfo de México y tiene un área de influencia de 800 000 hectáreas denominada Sistema B. La construcción comenzó en 1960 y se terminó en 1964. Tuvo entre sus objetivos primarios los siguientes:

a) controlar las avenidas del río Grijalva para evitar inundaciones en una superficie de 350 000 hectáreas de La Chontalpa (Sistema C en el mapa IX-1), seleccionada para destinarla a la agricultura intensiva; y

b) generar energía eléctrica con una capacidad total de un millón de kWh anuales.

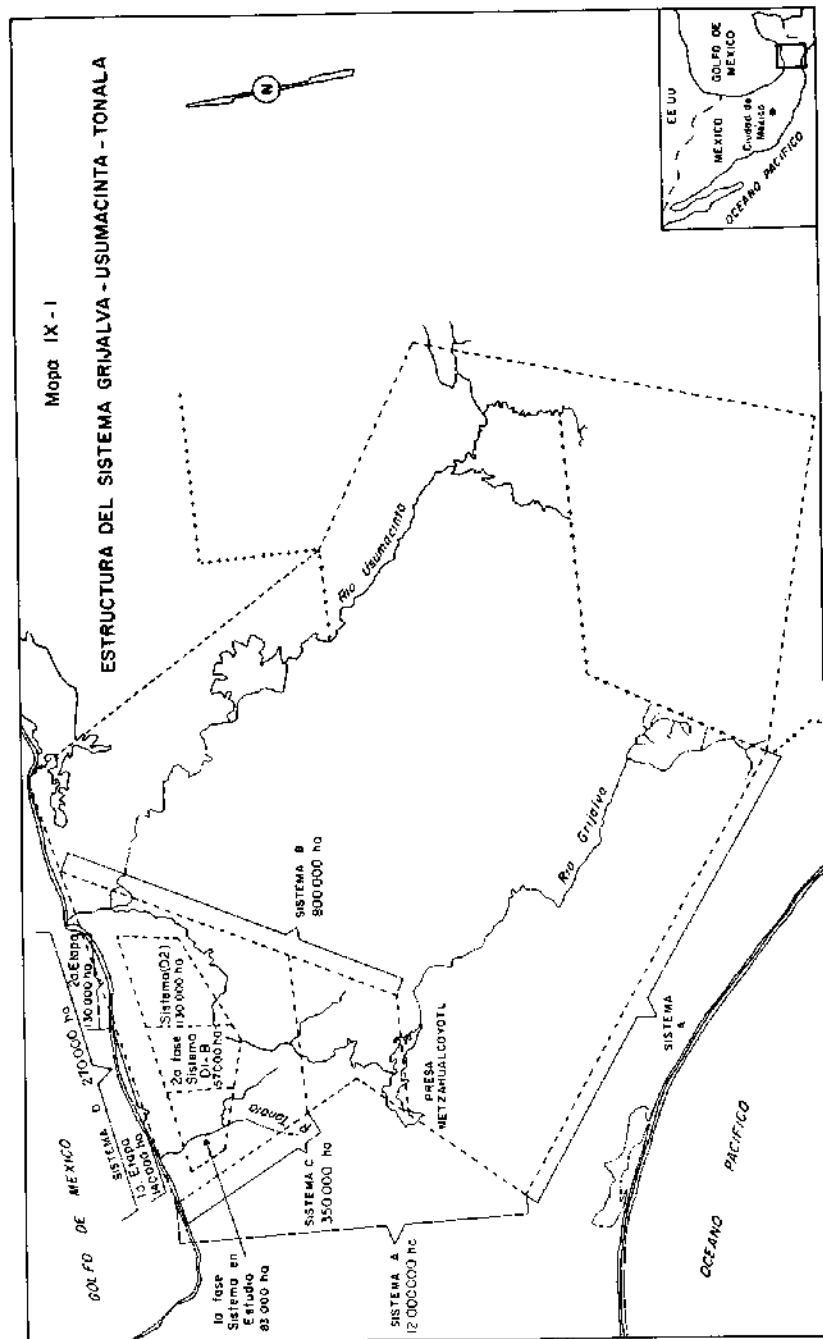
Sus objetivos secundarios fueron:

- i) regar una extensión de 35 000 hectáreas;
- ii) desarrollar la navegación aguas abajo del río y en el lago artificial;
- iii) desarrollar la fauna en el lago artificial; y
- iv) impulsar el turismo.<sup>113</sup>

El embalse de la presa tiene una capacidad total de 13 000 millones de m<sup>3</sup> y forma un lago de 29 400 hectáreas situado a 188 m sobre el nivel del mar. Tiene una capacidad de azolves de 1 000 millones de m<sup>3</sup>. La capacidad total destinada a la generación de energía es de 3 800 millones de m<sup>3</sup>, para lo cual se requiere que el agua del vaso tenga una altitud mínima de 144 m. La presa cuenta con una capacidad de superalmacenamiento de 860 millones de m<sup>3</sup>, equivalente a 0.50/o del escurrimiento medio anual de la cuenca alta de 37 000 km<sup>2</sup>. En la zona inundada por la presa vivían cerca de 300 familias que fueron reubicadas cerca del embalse, en el Estado de Chiapas.

Los objetivos primarios de la presa se han cumplido plenamente. Cuatro turbinas hidráulicas entraron en funcionamiento en 1968 y las dos restantes estarán instaladas en 1978. El río se ha regulado y ya no existe peligro de inundaciones; sólo en 1967 el nivel del agua estuvo a punto de rebasar el vertedor. El río incluso se estabiliza cada vez más debido a que se están construyendo aguas arriba otras dos presas hidroeléctricas (Angostura y Chicoasén). En cuanto a los objetivos secundarios, no solamente éstos no

<sup>113</sup> Comisión del Grijalva, *Proyecto La Chontalpa, Tabasco, primera etapa*, Secretaría de Recursos Hidráulicos, México, D.F., 1965.



se han cumplido, sino que prácticamente se han olvidado. El único que podría resurgir es el que pretendía desarrollar la pesca en el lago artificial, actividad que antes no había sido posible porque la descomposición de la vegetación existente impedía la proliferación de los peces. Sólo diez años después ha podido desarrollarse la fauna acuática pero a escala aún no comercial.

Simultáneamente con la construcción de la presa se llevaron a cabo estudios en la zona de 350 000 hectáreas en la región denominada La Chontalpa (véase el mapa IX-1 sistema C) destinados a: i) iniciar un proceso de crecimiento regional sostenido; ii) determinar las mejores técnicas aplicables al establecimiento de proyectos de apoyo a las actividades agropastorales y de expansión de la frontera agrícola en las zonas tropicales de México; y iii) mejorar las condiciones de vida de la población rural por medio de programas de bienestar estrechamente ligados a la transformación de la estructura productiva y regional.<sup>114</sup>

El Plan Chontalpa cubría 270 000 hectáreas, que se presentan en el mapa IX-1 como Sistema D. La ejecución de este plan se programó en dos etapas: la primera comprendía el desarrollo de 140 000 hectáreas (sistema D-1, mapa IX-1) que no exigía trabajos importantes de defensa, en un período de 11 años. La segunda abarcaría 130 000 hectáreas (sistema D-2, mapa IX-1) donde sería necesario construir importantes obras de defensa contra las inundaciones. La primera etapa se dividió para su realización en dos fases: una de cinco años (1966-1970) y otra de seis (1971-1976).

La primera fase contemplaba el desarrollo de 83 000 hectáreas (sistema D-1-A, mapa IX-1), de las cuales el 45% se encuentra actualmente en explotación pero con bajos rendimientos. En esta zona vivían 4 680 familias. Con la reestructuración del régimen de tenencia de la tierra el número de familias beneficiadas ascendería a 6 240. La segunda fase comprendía el desarrollo de 57 000 hectáreas (Sistema D-1-B, mapa IX-1), el 53% de las cuales eran explotadas en forma rudimentaria por 3 370 familias. En esta fase se beneficiaría un total de 4 900 familias con las nuevas obras proyectadas. Al final de la primera etapa el valor de la producción se incrementaría ocho veces y la producción por agricultor, cinco veces. En la práctica, sólo la primera fase (Sistema D-1-A) está en ejecución y constituye el tema central de este estudio.

Para cumplir con los objetivos señalados, fue necesario realizar una serie de obras en la primera fase. Como ya se mencionó la obra más importante desde el punto de vista del manejo del agua fue la presa Netzahualcóyotl, sin la cual no hubiera sido posible utilizar intensivamente la cuenca baja.

<sup>114</sup> Comisión del Grijalva, *El Plan Chontalpa, Tabasco, México*, documento presentado al Séptimo Congreso de Irrigación y Drenaje, México, D.F., 1968.

### 1. La infraestructura de regulación del agua

Para evitar las inundaciones en las 140 000 hectáreas de la primera etapa del Plan (mapa IX-2) provocadas por algunas avenidas extraordinarias del río Grijalva, se construyó el bordo de defensa Samaria-Huimanguillo. Este tiene 32 km de longitud y altura suficiente para permitir el paso de las avenidas con una frecuencia probable de hasta 1 en 50 años, sin desbordamiento.

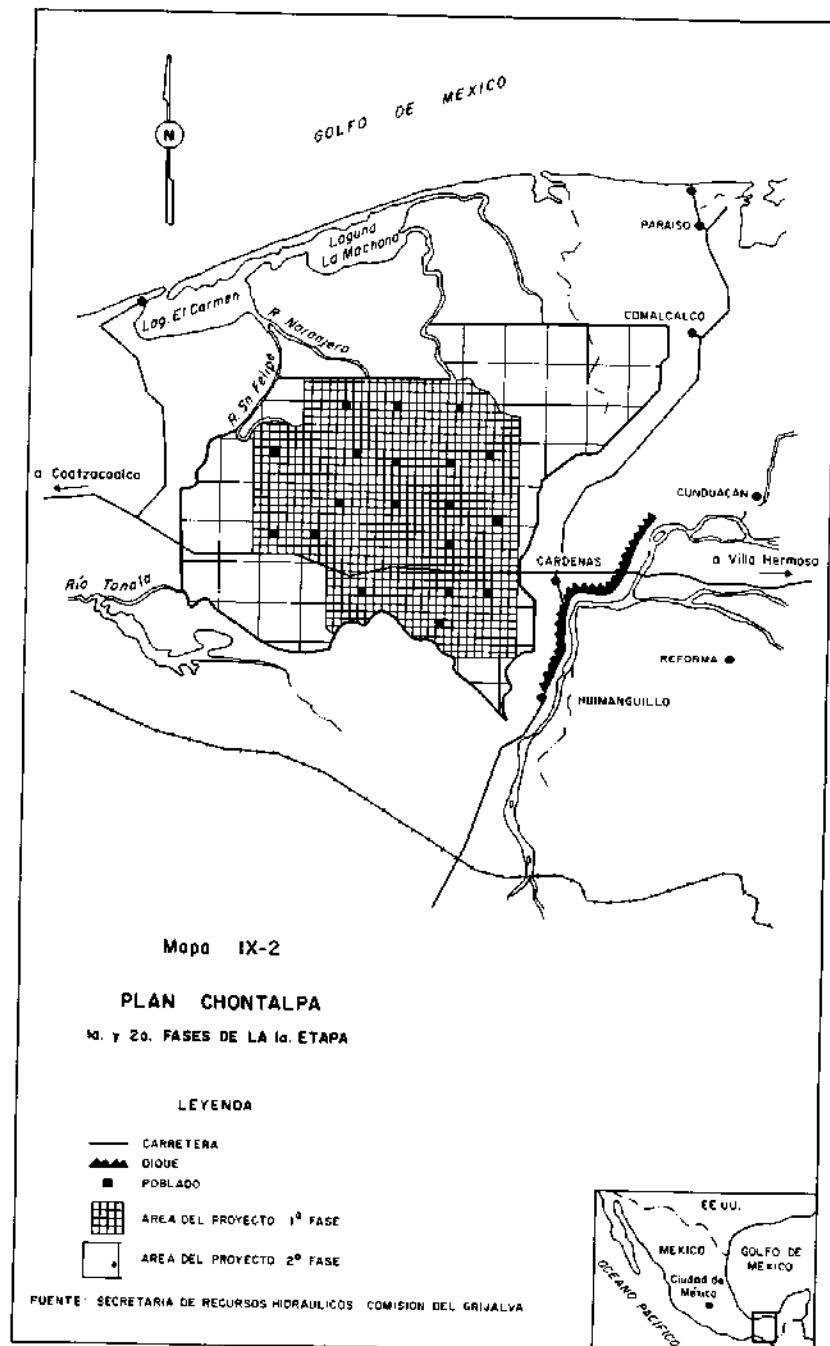
Una vez eliminado el peligro de las inundaciones era necesario dar salida rápida al agua superficial procedente de las lluvias intensas, a través de una red de drenaje. Los colectores tienen una longitud de 300 km y reciben las corrientes naturales que desaguan al mar. La red secundaria tiene una longitud de 900 km y desagua a los drenes principales en forma perpendicular. Los drenes principales generalmente están situados a dos kilómetros entre sí y los secundarios a un kilómetro, y ambos tienen una profundidad media de tres metros. La zona bruta de influencia de la red es de 91 000 hectáreas lo que representa 1.3 km de dren por km<sup>2</sup> de terreno.

En 1972 la Comisión empezó a introducir una red de drenes parcelarios en las zonas plataneras, que eran las más afectadas. Los drenes que componen esta red corren perpendiculares a los drenes primarios y tienen una distancia entre sí de 100 m; los drenes terciarios, con una separación de 24 m unos de otros, acumulan el agua del interior de la plantación. Fuera de esas zonas se cavaron zanjas de 50 cm de profundidad, con una separación de 200 m aproximadamente, que descargan sus aguas en el desagüe existente.

Se tenía previsto introducir el riego mediante una red de canales con una capacidad de un litro por segundo por hectárea. A este fin se proyectaba construir una presa que permitiera derivar las aguas del Grijalva hacia su margen izquierdo. Un canal principal las conduciría hasta los puntos de distribución, y desde allí se llevarían a cada sección de 100 hectáreas con tomas parcelarias.

La implantación de este sistema de riego debió posponerse porque los campesinos de La Chontalpa no estaban acostumbrados a regar ni tenían necesidad de hacerlo, dada la abundancia de lluvias existente en la región. Se pensó entonces que sería necesario instruir primero al campesino en las prácticas de riego por aspersión y, en seguida, evaluar los beneficios obtenidos a fin de decidir la conveniencia de construir canales de regadío.

Por otra parte, el riego era imprescindible por el tipo de cultivos que estaban desarrollándose, los que durante los tres meses de la época de sequía no recibían la cantidad de agua suficiente. Por este motivo, se perforaron 85 pozos, aunque con una vida útil muy corta (10 a 12 años), debido al tipo de subsuelo que existe en la zona. Además, su construcción tenía un alto costo; se calcula que un pozo adorado de 28" y de 120 m de profundidad y con su respectivo equipo costaba cerca de \$ 48 000. Pese a que existían 85 pozos, en 1975 sólo funcionaban 16 sistemas de riego por



aspersión<sup>115</sup> los cuales cubrían una superficie de 1 200 hectáreas de plataneros con una lámina media de 58 cm, a un costo de \$ 97 por hectárea. Además, desde 1973, se lleva a cabo un programa de riego por gravedad, que cubrirá una zona de 8 000 hectáreas. Dicho programa proyecta perforar pozos profundos y distribuir el agua a través de canales de terracería con una capacidad de 1.3 litros por segundo.

## 2. La infraestructura socioeconómica

Dado que la dispersión de la población dificultaba la asistencia social, sanitaria y escolar, sin favorecer el trabajo colectivo, y que resultaba muy costoso proporcionar los servicios indispensables, se decidió construir 22 poblados cada uno con una superficie de 40 hectáreas y capacidad para aproximadamente 200 familias.

Estos poblados disponen de servicio domiciliario de agua potable, alcantarillado, calles pavimentadas, alumbrado público, electrificación, aceras, centro cívico, zona comercial, templos, oficinas municipal y ejidal, áreas verdes y centro deportivo. Además, cada uno de ellos posee una escuela primaria de ciclo completo con capacidad para 300 alumnos, así como una bodega para maquinaria agrícola y almacenamiento provisional de las cosechas. Sólo se conservaron siete centros de salud, ya que toda la población se acogió al régimen de seguro social, cuya clínica se encuentra en la ciudad de Cárdenas. Con arreglo a este sistema, cada asegurado paga \$ 10 por bimestre para poder tener derecho junto con su familia al servicio médico, que contempla consultas médicas, medicamentos, hospitalización y operación.

La construcción de la vivienda campesina se realizó a través de un programa denominado "esfuerzo propio y ayuda mutua", en el cual se consideraba fundamental la participación directa del campesino para integrarlo al Plan Chontalpa. Los objetivos de este programa eran iniciar a los ejidatarios en el trabajo colectivo, evaluar sus habilidades y defectos, prestarles asistencia médica, promover el traslado de las familias y enseñarles la correcta utilización de la vivienda.

Inicialmente, se pensó que en este proceso de construcción era conveniente que el campesino aportara la mano de obra y la Comisión del río Grijalva proporcionara los materiales. Sin embargo, al tratar de cumplir lo programado, los campesinos manifestaron el deseo de que se les remunerara por el trabajo que hacían para mantener a su familia, dado que abandonarían el cultivo de la tierra. Por lo tanto, se optó por pagarles según el trabajo que realizaran. Además, tenían la obligación de trabajar dos horas extraordinarias durante 100 días para tener derecho a una casa, y la remu-

<sup>115</sup> Banco Nacional de Crédito Rural, *Programa de desarrollo agropecuario e industrial de La Chontalpa*, México, D.F., diciembre de 1974, p. 77.

neración por este trabajo se contabilizaría como el primer abono del costo total de la vivienda, que era de \$ 1 000. El saldo lo deberían pagar en 25 años, con cinco años de gracia y con un 30/o de interés anual sobre los saldos insolutos. El solar urbano tenía 1 200 m<sup>2</sup> y en él se construyó la casa en una superficie de 48 m<sup>2</sup>. Detrás de cada vivienda existía un huerto familiar destinado a mejorar la dieta alimenticia de la familia.

Una red de caminos permitía el acceso en forma segura durante todo el año, de tal manera que los campesinos no tendrían que recorrer más de 1.5 km para llegar a su parcela desde un camino pavimentado. La extensión total de la red de los caminos principales era de 260 km, con tramos de 5 km en ambas direcciones. Los caminos secundarios que tenían una longitud de 510 km, también se pavimentaron y los terciarios, que eran propiamente los caminos canaleros a través de los cuales se mantenían los drenes, tenían la misma longitud. En total, la red tenía una densidad de 1.66 km por cada km<sup>2</sup> de terreno, lo cual representaba una inversión de \$ 260 por hectárea (mapa IX-2).

### 3. El desarrollo agrícola

Dentro del área bruta sujeta a drenaje, (91 000 hectáreas) la superficie cultivable era de aproximadamente 78 500 hectáreas. De éstas originalmente<sup>116</sup> se pensó dedicar el 80/o a la agricultura intensiva (62 800 hectáreas) y el 20/o restante a la ganadería (15 700 hectáreas). Sin embargo, cuando estaba por cumplirse esta meta, hubo problemas de crédito, falta de experiencia, investigación y experimentación agropecuaria, además de problemas ecológicos. Estos últimos tenían su origen en la rapidez de los desmontes mecanizados y la imposibilidad de poner en explotación esas tierras lo cual hacía que los terrenos se enmontaran nuevamente. Frente a esa situación, se juzgó más fácil introducir pastizales que cultivos agrícolas; por consiguiente se cambió el criterio de uso del suelo, destinándose 58/o a la explotación ganadera (45 500 hectáreas) y 42/o a la explotación agrícola (33 000 hectáreas).<sup>117</sup>

Los levantamientos topográficos de la superficie bruta (91 000 hectáreas) realizados previamente, permitieron concluir que debían desmontarse 54 000 hectáreas. El resto (37 000 hectáreas) ya había sido desmontado y estaba ocupado por pastizales y cultivos anuales y perennes con bajos rendimientos, y por instalaciones agropecuarias.<sup>118</sup> Todos los desmontes

<sup>116</sup> Véase, *Informe cronológico del desarrollo de la primera fase del Plan Chontalpa*, Comisión del Grijalva, Secretaría de Recursos Hídricos, México, 1971.

<sup>117</sup> Banco Interamericano de Desarrollo, *Plan Chontalpa: Informe de la Misión Evaluadora*, Tabasco, México, 1971.

<sup>118</sup> Comisión del Grijalva, *Proyecto La Chontalpa*, Tabasco. Primera etapa, *op.cit.*

se hicieron con maquinaria, a un costo medio de \$ 200 por hectárea. Los trabajos de desforestación se comenzaron en forma sincronizada con la construcción de las obras de infraestructura a fin de no demorar el proceso productivo. Sin embargo, debido al resurgimiento del monte en las áreas no explotadas, hasta mayo de 1976 se había desmontado un total de 51 000 hectáreas faltando aún 13 000 hectáreas por desmontar.<sup>119</sup> La relación entre las metas fijadas y el desarrollo agropecuario logrado durante los 10 años del Plan (1966-1975) se puede apreciar en el cuadro IX-1.

#### 4. Los recursos financieros

El financiamiento de las obras civiles fue proporcionado por el Gobierno Federal (54%) y el Banco Interamericano de Desarrollo (46%). La inversión total desde 1959 hasta 1975 fue de 97 millones de dólares (véase el cuadro IX-2), y el crédito otorgado durante el mismo período sumó 36 millones de dólares.

## II. EL SISTEMA ADMINISTRATIVO

Antes de iniciarse la realización del Plan Chontalpa, se suscribieron acuerdos de coordinación entre los Ministerios de Agricultura y Ganadería, de Educación Pública, de Salubridad y Asistencia Pública, el Departamento de Asuntos Agrarios y Colonización (actual Secretaría de la Reforma Agraria) y la Secretaría de Recursos Hidráulicos. Estos Ministerios acordaron encomendar a la Comisión del Río Grijalva la construcción de todas las obras necesarias para el desarrollo integral de la zona, tales como escuelas, centros de salud, planes agrícolas, y otras, pero una vez terminada la construcción cada Ministerio administraría las obras correspondientes a su jurisdicción.

De acuerdo con la estructura de la Comisión, el Plan La Chontalpa está bajo la tuición de la Gerencia del Bajo Grijalva y, dentro de esta gerencia, la Jefatura del Distrito de Riego y Drenaje de La Chontalpa estaba encargada de la ejecución del Plan. Al iniciarse las obras en 1967, el mecanismo de decisiones era más o menos sencillo, ya que únicamente la Comisión resolvía sobre todos los aspectos relacionados con el desarrollo socioeconómico. Sin embargo, una amplia gama de instituciones entraron en el proceso de acción y reacción. Las acciones tomadas fueron fundamentalmente de dos tipos: unas apuntaban al rompimiento de factores estructurales; las otras procuraban modificar algunos elementos con el objeto de hacer más expedito el funcionamiento de la estructura. Entre las primeras figuraban

<sup>119</sup> Gerencia del Bajo Grijalva, *Archivos de la Comisión del Grijalva*, Cárdenas, 1976.

Cuadro IX - 1  
EL PLAN CHONTALPA: DESARROLLO AGROPECUARIO

| Utilización de la tierra                                   | Área (hectáreas) |        |                 | Cambio de área 1965-1975<br>% | Producción (miles de dólares) |       | Cambio de producción 1965-1975<br>% |                 |
|------------------------------------------------------------|------------------|--------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|-------|-------------------------------------|-----------------|
|                                                            | 1965             | 1975   | Meta            |                               | 1965                          | 1975  |                                     |                 |
|                                                            |                  |        | Original (1971) |                               |                               |       |                                     | Revisada (1976) |
| Cultivos                                                   |                  |        |                 |                               |                               |       |                                     |                 |
| Anuales                                                    | 7 700            | 13 700 | 33 000          | 18 000                        | +78                           | 504 a | 2 757 a                             |                 |
| Anuales repetidos                                          | (800)            | (300)  | 11 000          | (6 000)                       | -63                           | -     | -                                   |                 |
| Perennes                                                   | 11 900           | 12 800 | 30 000          | 15 000                        | +8                            | 1 578 | 6 696                               |                 |
| Pastizales                                                 | 15 600           | 31 100 | 15 500          | 45 500                        | -                             | 149   | 3 467                               |                 |
| Selva                                                      | 37 000           | -      | -               | -                             | -100                          | -     | -                                   |                 |
| Vegetación secundaria                                      | 9 800            | 21 900 | -               | -                             | +23 b                         | -     | -                                   |                 |
| Área neta disponible para la agricultura                   | 82 000           | 78 500 | 78 500          | 78 500                        | -4                            | 2 230 | 12 920                              |                 |
| Instalaciones agropecuarias                                | 1 000            | 3 100  | 3 100           | 3 100                         | +210                          | -     | -                                   |                 |
| Área neta de propiedad privada o ejidal                    | 83 000           | 81 600 | 81 600          | 81 600                        | 2                             | 2 230 | 12 920                              |                 |
| Otras tierras incultivadas (selva o vegetación secundaria) | 8 000            | -      | -               | -                             | -100                          | -     | -                                   |                 |
| Poblados e infraestructura                                 | -                | 10 400 | 10 400          | 10 400                        | -                             | -     | -                                   |                 |
| Área bruta                                                 | 91 000           | 91 000 | 91 000          | 91 000                        | -                             | 2 230 | 12 920                              |                 |

Fuentes: Salvador Romero Ordoñica y Celso Fuentes "Desarrollo del Plan Chontalpa", en Iván Restrepo Fernández, *Los problemas de la campesina*, Seminario sobre Organización Campesina y Desarrollo Agroindustrial, Oaxtepec, Morelos, 1975, p. 193; y David Batkin, *op. cit.*, p. 54.

a Incluye los cultivos repetidos.

b Incluye "otras tierras incultivadas".

## EL PLAN CHONTALPA: INVERSIONES Y GASTOS, 1959 - 1975

| <i>Concepto</i>                                  | <i>Inversión<br/>(Millones de dólares, 1975)</i> |
|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| <b>Inversión en infraestructura productiva</b>   |                                                  |
| Estudios                                         | 1.10                                             |
| Indemnizaciones                                  | 9.10                                             |
| Construcciones agrícolas e industriales          | 25.00                                            |
| Desmonte                                         | 6.36                                             |
| Caminos                                          | 31.70                                            |
| <i>Subtotal</i>                                  | <i>73.26</i>                                     |
| <b>Inversión en infraestructura social</b>       |                                                  |
| Urbanización                                     | 4.59                                             |
| Vivienda                                         | 5.06                                             |
| <i>Subtotal</i>                                  | <i>9.65</i>                                      |
| <b>Gastos de operación y conservación</b>        |                                                  |
| Comunes                                          | 1.37                                             |
| Obras hidráulicas                                | 1.08                                             |
| Poblados                                         | 1.42                                             |
| Granja                                           | 1.39                                             |
| <i>Subtotal</i>                                  | <i>5.26</i>                                      |
| Prorratio de la inversión en propiedades físicas | 8.59                                             |
| <i>Gastos totales</i>                            | <i>96.76</i>                                     |

*Fuente:* David Barkin, *op. cit.*, p. 59.

todas las medidas que adoptó la Comisión para acabar con el tradicional régimen de tenencia de la tierra y con el sistema de relaciones sociales y de producción que allí se habían establecido. Una vez expropiadas las tierras, indemnizados los dueños y evidenciada la poca eficiencia del sistema de producción introducido (parcelaciones, grupos solidarios, etc.), se produjo una segunda acción, que afectó la estructura existente: la colectivización de todos los ejidos del plan, tanto los nuevos como los antiguos. Entre las medidas para modificar la estructura figuraba una gran cantidad de acciones tendientes a darle mayor agilidad, entre otras, el otorgamiento de créditos, la formación de la Unión de Ejidos y la suscripción de contratos para abastecer a las industrias azucareras y lechera.

La decisión de empezar a ejecutar el Plan en 1966 desencadenó una serie de reacciones no sólo de orden ecológico (a consecuencia del desmonte y la construcción) sino además, de carácter económico (quiebre de las formas tradicionales de producción, financiamiento y comercialización existentes en la región) y sociopolíticas (robustecimiento del caudillismo, férrea unidad campesina contra el Plan, incluso entre grupos sociales antagónicos y, sobre todo, movilización política armada de grupos de campesinos para enfrentarse al Plan). Por tal motivo, fue necesario pedir la intervención pacífica del ejército en abril de 1967.<sup>120</sup> Ante los problemas sociales y políticos que se suscitaron, la Comisión optó por establecer un departamento de promoción social que, además, explicara a los campesinos los objetivos del Plan.

Entre 1967 y 1970 se desarrolló, sobre la base de la explotación parcelaria de la tierra, un conjunto de relaciones productivas y sociales, como el resurgimiento de caudillos enraizados en los grupos solidarios de crédito, formas indirectas de explotación de las parcelas, débil recuperación de los créditos, bajos niveles de productividad y producción y altos costos institucionales en la asistencia técnica y en la mecanización agrícola. Una vez terminadas las obras de infraestructura básica, surgieron los problemas, ya que los programas integrales se comenzaron a desmembrar; cada Ministerio seguía sus propias directrices sin respetar la unidad de acción que originalmente habían adoptado. Al principio, el problema más grave fue la carencia casi total de créditos y, más adelante, los montos inadecuados para utilizar toda la capacidad productiva disponible.

Durante el período comprendido entre 1971 y 1973 se reestructuró el Plan, a raíz de lo cual el Gobierno Federal y el Estado emprendieron una serie de drásticas medidas destinadas a corregir la situación, entre las que se cuentan la colectivización de todos los ejidos; la centralización del crédito; asistencia técnica y capacitación tecnológica en un Fideicomiso establecido en 1972 exclusivamente para ese fin; el otorgamiento de autonomía a cada institución vinculada al Plan (Secretaría de Reforma Agraria, Ingenio Benito Juárez, Nestlé, etc.); y la limitación de las funciones de la Comisión a la fiscalización de drenes y obras de riego.

El cambio de la explotación individual a la colectiva creó descontento entre los campesinos, quienes lograron que se les dotara de una parcela individual de dos hectáreas por familia, además de 13 hectáreas de explotación colectiva. De esta forma, en 1973 se terminó la incorporación de las 83 000 hectáreas de la primera fase al trabajo colectivo. Los ejidatarios que se opusieron a este sistema fueron trasladados a otras zonas de colonización. Después de la creación del Fideicomiso en 1972 las acciones quedaron a cargo de la Comisión. Al diversificarse la producción se disgregó el mando y con ello la unidad en la toma de decisiones. El cuadro IX-3 ilustra las diversas funciones de las instituciones más importantes en la región.

<sup>120</sup> Ignacio Rodríguez Castro, *El ejido colectivo: última esperanza*, publicación del Gobierno del Estado de Tabasco y la Comisión de Grijalva, 1975, p. 98.

**PLAN LA CHONTALPA (PRIMERA FASE): ESTRUCTURA FUNCIONAL DE LAS INSTITUCIONES, 1976**

| <i>Instituciones</i>                                            | <i>Funciones</i>   |              |               |                  |                                         |                                         |                |                           |            |                     |           |                        |                  |       |
|-----------------------------------------------------------------|--------------------|--------------|---------------|------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|----------------|---------------------------|------------|---------------------|-----------|------------------------|------------------|-------|
| (Principales organismos públicos y privados vinculados al Plan) | Asistencia técnica | Capacitación | Procesamiento | Asistencia legal | Comercialización de productos agrícolas | Comercialización de productos pecuarios | Financiamiento | Abastecimiento de insumos | Transporte | Conflictos sociales | Promoción | Organización campesina | Control forestal | TOTAL |
| Fideicomiso                                                     | X                  | X            |               |                  |                                         |                                         | X              | X                         |            |                     | X         | X                      |                  | (6)   |
| Secretaría de Reforma Agraria                                   |                    | X            |               | X                |                                         |                                         |                |                           |            | X                   | X         | X                      |                  | (5)   |
| Comisión del Grijalva                                           | X                  |              |               | X                |                                         |                                         |                |                           |            |                     | X         |                        |                  | (3)   |
| Secretaría de Agricultura y ganadería                           | X                  |              |               |                  |                                         |                                         |                |                           |            |                     |           |                        | X                | (2)   |
| Unión de Ejidos                                                 |                    |              | X             |                  | X                                       |                                         |                | X                         | X          | X                   |           |                        |                  | (5)   |
| Nestlé y Cía.                                                   | X                  | X            | X             |                  |                                         | X                                       | X              | X                         | X          |                     |           |                        |                  | (7)   |
| Ingenio de Azúcar Benito Juárez                                 | X                  |              | X             |                  | X                                       |                                         | X              | X                         | X          |                     |           |                        |                  | (6)   |
| Asociación de Ganaderos del Estado de Tabasco                   |                    |              |               |                  |                                         | X                                       |                | X                         |            |                     |           |                        |                  | (2)   |
| Empacadora y Frigorífico de Villahermosa                        | X                  |              | X             |                  | X                                       |                                         |                |                           |            |                     |           |                        |                  | (3)   |
| Congreso Nacional de Campesinos                                 |                    |              |               |                  |                                         |                                         |                |                           |            | X                   | X         |                        |                  | (2)   |
| Bancos Privados                                                 |                    |              |               |                  |                                         |                                         | X              |                           |            |                     |           |                        |                  | (1)   |
| Total                                                           | 6                  | 3            | 4             | 2                | 2                                       | 3                                       | 4              | 5                         | 3          | 3                   | 4         | 2                      | 1                | (42)  |

**Fuente:** David Barkin, *op.cit.*, p. 48.

El Fideicomiso se estableció sobre la base de un contrato entre el Ministerio de Hacienda y Crédito Público y el Banco Agropecuario del Sureste, S.A., en su calidad de institución fiduciaria. Dicho contrato estipulaba la creación del Comité Técnico integrado por representantes del Gobierno del Estado (en este caso, el presidente del Fideicomiso), la Secretaría de Hacienda, la Comisión del Grijalva, la Secretaría de Agricultura y Ganadería, la Secretaría de la Reforma Agraria, el Banco Nacional Agropecuario, el Banco Agropecuario del Sureste, la Confederación Nacional Campesina y la Unión de Ejidos Colectivos de La Chontalpa. Un coordinador general era el responsable de la ejecución de los acuerdos tomados por el Comité Técnico.

La Comisión del Grijalva quedó a cargo directamente sólo de la operación y mantenimiento del Distrito de Riego y Drenaje y de todas las obras hidráulicas en general. Además, como ya se mencionó, formaba parte del Comité Técnico, en calidad de representante del Ministerio de Recursos Hidráulicos. Dada la capacidad de influencia de sus integrantes, la Comisión tenía por finalidad, facilitar la obtención de capitales para el Fideicomiso. Pese a que el objetivo principal del Fideicomiso era lograr mejor coordinación, éste no pudo cumplirse por no tener aquél la jerarquía adecuada para obligar a las otras instituciones a seguir una meta común. De esta manera, sólo agudizó las relaciones interinstitucionales y bloqueó el mecanismo de decisiones<sup>121</sup> con lo cual persistieron problemas anteriores. Del programa crediticio en 1974 y 1975 sólo se realizó el 42 y el 57% respectivamente.

Del crédito de \$ 22 millones suministrado por el Fideicomiso entre 1972 y 1975, se recuperó sólo el 46% de lo programado. En septiembre de 1976 se acordó disolver el Fideicomiso y reintegrar sus carteras al Banco de Crédito Rural del Golfo, el cual proporcionaría el financiamiento en el futuro.

En 1973 se integraron las actividades económicas de los 22 ejidos al constituirse la Unión de Ejidos de La Chontalpa. La unidad agroeconómica de los ejidos tenía como objetivos principales mejorar la producción agropecuaria; contratar los créditos; organizar el trabajo colectivo; comprar y aplicar los insumos agropecuarios; establecer y poner en funcionamiento los almacenes, silos y frigoríficos; comercializar la producción; contratar asistencia técnica; establecer y administrar las centrales de maquinaria y consumo; industrializar la producción; organizar actividades culturales, cívicas y deportivas y realizar cualquier otra actividad tendiente a mejorar la vida de la familia campesina.<sup>122</sup>

<sup>121</sup> H. Rosenfeld y otros, *Análisis de los problemas administrativos del Plan Chontalpa*, diciembre de 1976, p. 38, Proyecto Conjunto de la Secretaría de la Reforma Agraria, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).

<sup>122</sup> Arturo Núñez Jiménez, *op. cit.* p. 71.

En la actualidad, el papel más importante de la Unión es el de servir de intermediario en la comercialización de sólo tres productos: el plátano, el cacao y el arroz. Además, la Unión posee una farmacia veterinaria, distribuye fertilizantes a bajo precio, ha instalado un aserradero en el área a fin de aprovechar la madera de desmonte y un molino de arroz, posee una tienda rural en cada ejido y administra una línea de autobuses. Sin embargo, la Unión no tuvo una actuación importante en la administración del Fideicomiso, y es significativo que de los nueve funcionarios que trabajan en su sede en Cárdenas, siete son pagados por instituciones del Plan.

### III. LAS CONSECUENCIAS AMBIENTALES

Al examinar las modificaciones que ha sufrido el sistema Chontalpa, se parte del concepto de ecodesarrollo, según el cual si se desea lograr un desenvolvimiento que perdure a largo plazo, deben tenerse en cuenta las características no sólo del lugar sino de las regiones aledañas y los rasgos culturales de la población.

En la presente sección se analizan los efectos que sobre el medio ambiente han ejercido tanto las distintas acciones emprendidas en La Chontalpa como el tipo de desarrollo planteado. Entre las primeras, se consideran:

- a) las obras hidráulicas de control del agua (diques, presa reguladora, riego, sistema de drenaje);
- b) la infraestructura socioeconómica (caminos, electrificación y urbanización); y
- c) las actividades complementarias a la explotación agropecuaria (desforestación, crédito, reestructuración de la tenencia de la tierra, relocalización de campesinos, extensión, reorganización ejidal y promoción de la agroindustrias).

Todas las acciones mencionadas, tendientes a construir el sistema artificial La Chontalpa, han producido cambios y han repercutido considerablemente en muchos sectores. Dichas repercusiones se examinarán según su efecto en el sistema físico, en el sistema transformado y en el sistema sociocultural; además, se analizarán las interacciones identificables existentes entre los tres subsistemas que componen el medio ambiente.

La hipótesis central que servirá de base para evaluar las transformaciones sufridas por el medio ambiente a consecuencia de las acciones emprendidas sostiene que el incremento del flujo económico de bienes y servicios derivado del medio físico alterado y el mejoramiento de la calidad de vida de los beneficiarios se han visto restringidos si se los considera en el corto y en el largo plazo debido a:

- i) el desconocimiento de la importancia de considerar las dimensiones ecológicas y socioculturales en el momento de transformar un ecosistema natural y el sistema socioeconómico asociado;

ii) la escasez o desconocimiento de tecnologías adecuadas para explotar racionalmente las regiones tropicales; y

iii) la incapacidad del sistema institucional para funcionar en forma coordinada, permitiendo la participación activa de la población en las decisiones sobre su propio bienestar.

### 1. *Los cambios en el medio físico*

El cambio más importante en el medio físico fue estabilizar el régimen del río y eliminar el peligro de las inundaciones. En el gráfico IX-1 se observa que el gasto fue más homogéneo durante 1974 en comparación con el que existía en 1959; es decir, mientras en este último año el gasto máximo fue 10 veces superior al gasto mínimo en el primero dicha diferencia fue sólo 4 veces mayor. Además, gracias al embalse, el río Grijalva aguas abajo de la presa lleva menos material de acarreo en suspensión, el cual ahora se deposita en el vaso de la presa lo que, por otra parte, reduce su capacidad de almacenamiento. (Véase el gráfico IX-2)

Esos dos cambios han producido una serie de efectos. La eliminación de las grandes avenidas que anteriormente tenía el río Grijalva ha causado la erosión de su cauce, ensanchando el lecho del río y provocando inundaciones; por otro lado, se está erosionando la costa del Golfo de México, debido a que el río ya no deposita sedimentos en su desembocadura.

También las lagunas y manglares costeros del Golfo se han visto afectados por la disminución de su volumen de agua dulce; y la simultánea entrada de un volumen mayor de agua salada, que duplicó el grado de salinidad del agua entre 1966 y 1976, produciendo los efectos consiguientes sobre la fauna acuática, entre los cuales se cuenta la disminución del ostión.

Las obras de control de crecidas y drenaje han tenido un doble efecto en el río Tonalá; en un sentido, se ha reducido su caudal, porque ya no se recarga como consecuencia de las inundaciones del Grijalva; en otro sentido, éste ha aumentado sobre todo en época de lluvias, porque la red del drenaje colector de La Chontalpa desemboca en la cuenca. Estos cambios han contribuido a que disminuya la fauna acuática.<sup>1 2 3</sup>

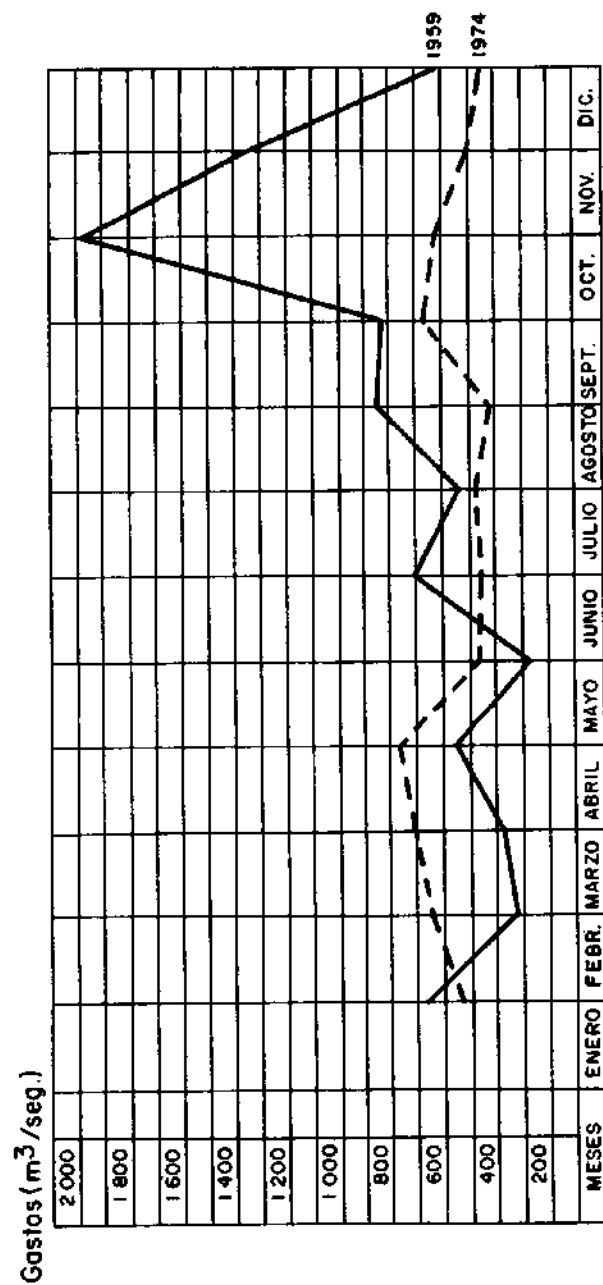
Los ríos en los cuales desembocan los drenes han tenido que ser dragados para que el agua salga más rápidamente, con lo cual, ha sucedido que en la época de estiaje el agua de mar entre con mayor facilidad, provocando la salinización de los suelos y los mantos freáticos. En algunos pozos el agua salada ya se encuentra a 120 m de profundidad.

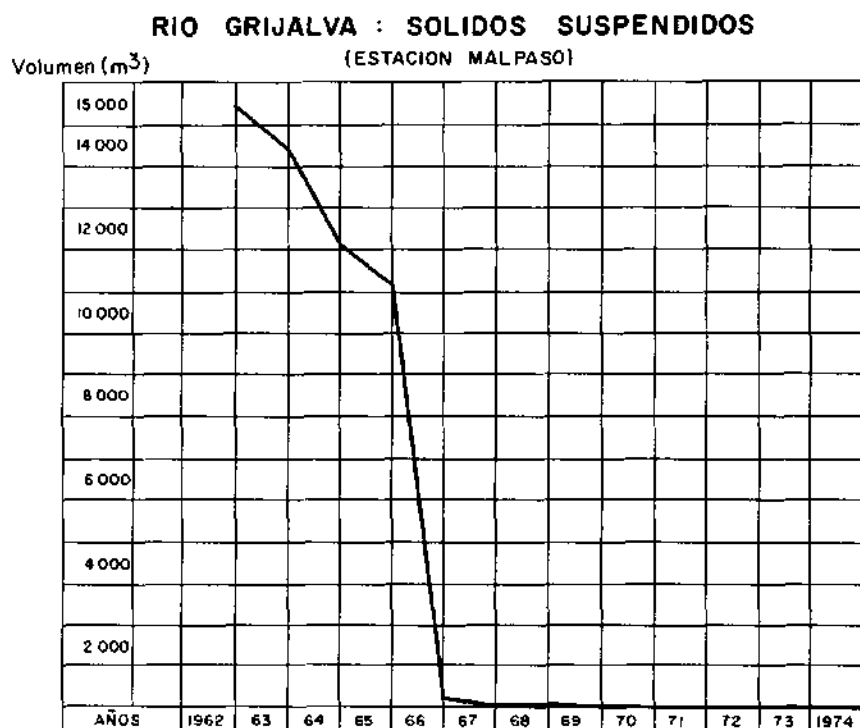
Una de las consecuencias más graves del control de crecidas ha sido la reducción de la flora y fauna terrestres. El único aprovechamiento que se hizo de las 29 400 hectáreas de bosques inundadas por el embalse Netza-

<sup>1 2 3</sup> Banco de Comercio de México, *La Economía del Estado de Tabasco*, colección de estudios económicos regionales, México, D. F., 1966.

Gráfico IX - I

**RIO GRIJALVA: GASTOS MEDIOS MENSUALES**  
(ESTACION LAS PEÑITAS)





hualcáyotl fue la extracción de maderas preciosas. El incremento de la superficie cultivada previo desmonte para obtener mayor seguridad contra las inundaciones no sólo se produjo en las 91 000 hectáreas de La Chontalpa; se estima que la tasa de desmonte entre 1960-1965 y 1976 fue del orden de las 25 000 hectáreas por año.<sup>124</sup>

La falta de antecedentes sobre desarrollo en zonas tropicales hizo que en el Plan no se propusiera la explotación silvícola y, por lo tanto, no se elaboró un estudio de las posibilidades económicas del bosque, el que, una vez talado, se quemó. Según un cálculo aproximado de los recursos desperdiciados en el Sistema Chontalpa, de las 30 000 hectáreas desmontadas pudieron haberse obtenido 21 000 m<sup>3</sup> de madera dura tropical, 2 700 m<sup>3</sup> de caoba y 350 m<sup>3</sup> de cedro. En contraste con la ampliación del área cultivada, la alta densidad de la infraestructura ha restado cerca de 12 000

<sup>124</sup> Comité Promotor del Desarrollo Socioeconómico del Estado de Tabasco, *Plan estatal de desarrollo*, Villahermosa, Tabasco, 1976.

hectáreas (130/o del total) a la producción. Por otro lado, es escasa la probabilidad de que ocurran perturbaciones en la precipitación pluvial o en la evaporación, a consecuencia de los desmontes masivos. En las dos estaciones pluviométricas construidas para el Plan se ha observado que tanto la precipitación mensual mínima como la máxima tienen actualmente valores inferiores a los del decenio pasado. La deforestación también afectó la fauna local, pues cuando se transforma el hábitat de ciertas especies animales, éstas emigran hacia otros lugares, donde pueden o no subsistir. Es difícil evaluar el grado de esta depredación, pues no existen datos sobre el balance cuantitativo ni sobre el valor económico de las especies afectadas.

Dada la falta de protección vegetal, el proceso de lixiviación de nutrientes es más lento en los suelos arcillosos que predominan en La Chontalpa, pero ya es posible percibirlo. Este proceso, sumado al hecho de que dichos suelos ya no reciben los nutrientes que en forma natural aportaban los desbordamientos del río Grijalva, ha disminuido su fertilidad y ha aumentado su dependencia de fertilizantes artificiales.

El control de inundaciones, la deforestación y la construcción de la red de drenaje que desaloja rápidamente el agua de lluvia, han provocado grandes variaciones en los mantos subterráneos. En octubre de 1975, en el 480/o de la superficie el manto se encontraba a menos de un metro de profundidad, mientras que en la época de sequía bajaba a más de 20 metros. Esta variación puede afectar sensiblemente algunos cultivos. El desarrollo extensivo del riego por bombeo (400 a 800 pozos) podría originar problemas a causa de la intrusión del agua salada.<sup>125</sup>

Aguas arriba de la presa Netzahualcóyotl se produjo el desplazamiento de una población de casi 3 000 habitantes desde el vaso. Dicha población se trasladó a las laderas boscosas desocupadas en la cuenca alta, aumentando la corriente de migración espontánea. La técnica agrícola utilizada por esos inmigrantes consistía en rozar, tumbar y quemar. En 1972, se estima que en la cuenca alta del Grijalva, se quemaron alrededor de 50 000 hectáreas de bosques.<sup>126</sup> De no haber erosión acelerada, la vida útil de la presa se calculó en 60 años. El proceso de asentamiento en la cuenca alta influye sobre esa vida; sin embargo, últimamente dicho proceso ha disminuido debido a que la mayoría de los sedimentos se acumulan en los dos embalses aguas arriba, Angostura y Chicoasen. Es evidente que la vida de estas presas se acortará más rápidamente que la de Netzahualcóyotl.

<sup>125</sup> P.K.B., Sección Hidrología *Estudio de factibilidad agroindustrial*, (versión preliminar), México, D.F., 1976, p. 3.

<sup>126</sup> M. Velasco Suárez y C. Miguel Sarmiento, "El fuego como factor de concentración ambiental", *Memoria. Primera Reunión Nacional sobre Problemas de Contaminación Ambiental*, México, D.F., vol. II, 1973, p. 806.

## *2. Los cambios ocurridos a consecuencia del manejo del medio ambiente transformado*

En páginas anteriores se han señalado los efectos positivos de las alteraciones al sistema físico (por ejemplo, el control de crecidas y el aumento de la producción agropecuaria, energética y de la pesca en el embalse), razón por la cual en esta sección se enfocan principalmente los aspectos potencialmente negativos.

La red de drenaje en las 91 000 hectáreas descrita en párrafos anteriores, si bien es complicada y costosa, no ha resuelto completamente el problema de las inundaciones. Se proponen acciones aún más amplias, entre otras la nivelación, un sistema de drenes parcelarios y el manejo del manto freático por medio de desagüe profundo o por desviación. Esta última técnica es factible debido a que se conoce la procedencia del agua subterránea antes de entrar a La Chontalpa. Sin embargo, queda la incógnita de los posibles efectos que esta acción tendría sobre otras zonas y sobre la misma Chontalpa.

Este tipo de drenaje supone ingentes gastos por concepto de mantenimiento. A causa de la abundante vegetación que crece en los drenes, el agua no circula con rapidez, y deben limpiarse los canales; el costo aproximado de esta operación es de \$ 200 por km al año. Por otra parte, el acarreo de materiales es cuantioso ya que la zona está aún en formación desde el punto de vista geológico, lo que obliga a dragar los drenes, sobre todo los principales. El costo actual de desazolve es de cerca de \$ 800 el km de dren al año.

Al parecer la densidad de caminos fue excesivamente elevada, si se considera que existen caminos troncales con altos índices de subutilización. Además, la conservación de los caminos es costosa en las zonas tropicales, pues la vegetación los invade y la alta precipitación pluvial ocasiona deslaves fuertes, por lo cual deben asignarse \$ 200 por km de camino al año, para operación y mantenimiento. De este modo, si las instituciones no prestan servicio de mantenimiento continuo, la infraestructura se deteriora rápidamente.

La red caminera fue concebida teniendo en cuenta la existencia de un sistema de riego por canales, por lo que actualmente se observa incompatibilidad entre dicha red y el sistema de riego por bombeo. Cada pozo sólo puede regar 100 hectáreas aunque su capacidad sea mayor, y por consiguiente, la inversión en pozos está considerablemente subutilizada.

El proceso de urbanización ha provocado una serie de problemas. Al proyectar los centros urbanos no se tuvo en cuenta la modalidad de vida del campesino. El poblado no cuenta con servicios de mantenimiento porque los asentados no están acostumbrados a suministrarlos. A pesar de existir alumbrado público en algunos poblados, el campesino no lo utiliza porque no aprecia su valor, sin embargo, el costo recae sobre el ejidatario de todas maneras. Desde el punto de vista cualitativo la vivienda proporcionada por el Plan parece inferior a la tradicional, que se construía con

materiales locales que permitían la ventilación interior. Los techos de guano tenían pendientes muy pronunciadas que impedían la acumulación de humedad en la temporada de lluvias y evitaban la exposición directa a los rayos solares, constituyendo un aislante térmico. En cambio, en la vivienda construida por el Plan se utilizaron otros materiales, se redujo la superficie de iluminación y ventilación a pequeñas ventanas y se suavizaron las pendientes de los techos, con lo cual aumentó la humedad en los períodos de lluvia y se produjo un mayor recalentamiento de la casa porque la superficie expuesta al sol es más extensa y el asbesto no tiene las mismas propiedades térmicas que el guano.

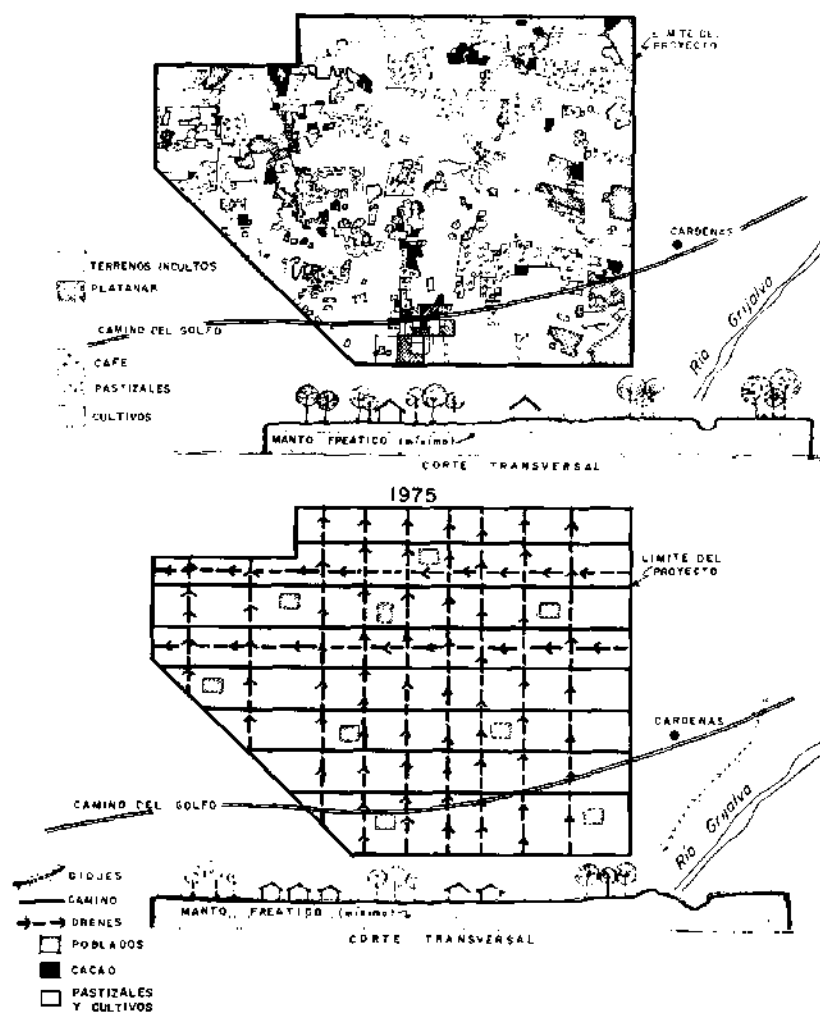
El entorno del solar tradicional se caracterizaba por la existencia de vegetación y de un huerto familiar que permitía a la familia conservar su intimidad y tener algunos productos para su consumo. En cambio, al modificar este sistema, la población perdió su intimidad y la posibilidad de tener animales domésticos. Además, se calculó que en 1974 sólo el 50% de las familias tenía huerto. Debido a estas deficiencias, la mayoría de los pobladores actualmente no están dispuestos a pagar la deuda pendiente por la casa y solar (1 800 dólares); la suma media y pagada por cada familia hasta 1976 ascendía sólo a 60 dólares.

En el diseño de los centros urbanos no se han previsto ampliaciones para dar cabida a la nueva población. Las familias que desean establecerse en la zona se ven obligadas a ocupar los terrenos contiguos a los caminos. En esta situación se encuentran cerca de 500 familias cuyas viviendas no cuentan con ningún servicio pese a que sus habitantes trabajan casi permanentemente en La Chontalpa en calidad de jornaleros.

No cabe duda que la infraestructura de comunicaciones, educación y salud ha ejercido efectos positivos en la zona. Además, la vida comunitaria ha tenido algunas repercusiones favorables en la vida social. Aproximadamente para la misma población el número de alumnos inscritos en las escuelas aumentó de 2 000 que existían en el período 1960-1961 a 6 650 entre 1976 y 1977; y en 1972 los ejidatarios se convirtieron en derechohabientes del Instituto Mexicano del Seguro Social con todas sus ventajas médicas. Sin embargo, a raíz de este cambio, que dio a los beneficiarios acceso a la clínica en Cárdenas, de los 22 centros de salud construidos, 15 dejaron de ser necesarios.

Quizá el aspecto más destacado del manejo del medio transformado haya sido la tecnología agrícola aplicada. El tipo de desarrollo planteado implicaba la reutilización total del espacio. Esta suponía la eliminación de las zonas boscosas y, en su lugar, el desarrollo de una actividad agropecuaria. En el gráfico IX-3 se observa en forma esquemática la localización espacial de los predios en 1961 y la forma en que se cuadrículó el terreno a fin de cumplir el Plan. Para justificar económicamente las fuertes inversiones en infraestructura (1 000 dólares por hectárea) la Comisión, al principio, y el Fideicomiso después, se sintieron obligados a introducir las tecnologías más avanzadas y una agricultura muy intensiva. Sin embargo, por las razones ecológicas, sociales e institucionales analizadas anteriormente, el

PLAN LA CHONTALPA : CAMBIOS EN LA UTILIZACION DEL ESPACIO  
1961



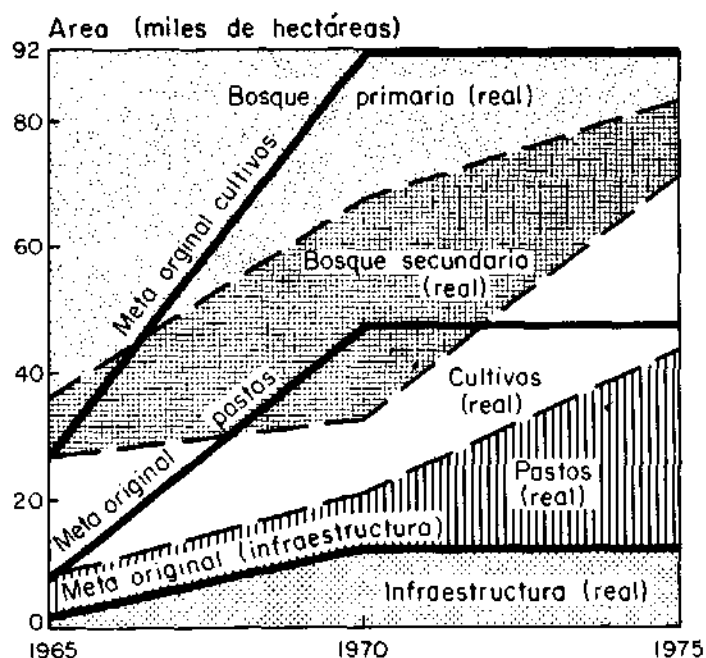
programa agropecuario ha experimentado modificaciones y se han producido demoras y formulado metas menos ambiciosas. Los gráficos IX-4 y IX-5 muestran las relaciones entre los avances logrados por el Plan en la zona en producción y en los rendimientos entre 1965 y 1975 y las metas fijadas.

Ya en el punto 3 del primer capítulo se describieron las causas por las cuales se decidió dar a las tierras un uso distinto al previsto en el Plan, destinándolas a praderas artificiales para la explotación ganadera, que resultaba económicamente más conveniente. Sin embargo, aun así, en el año 1972, en que el Plan se convirtió de agrícola en ganadero, había 7 150 hectáreas de pastizales y no se contaba con una sola cabeza de ganado. En vista de que la ganadería absorbe poca mano de obra se redujo la meta de beneficiarios en 1 100 familias, 180/o de lo previsto anteriormente.

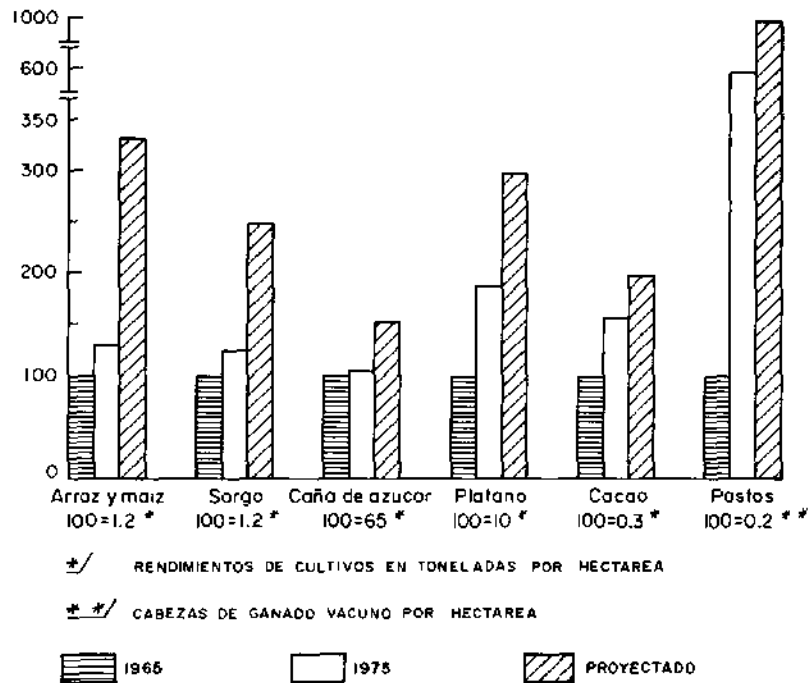
La nueva tecnología agrícola no sólo requirió insumos modernos y el empleo de técnicos agrónomos para aplicarla o para capacitar a los campesinos a fin de que pudieran utilizarlas sino también, una gran cantidad de crédito para financiarla, con lo cual los ejidatarios quedaron sujetos al

Gráfico IX - 4

PLAN LA CHONTALPA : UTILIZACION REAL Y PREVISTA DEL SUELO, 1965-1975



PLAN LA CHONTALPA: RENDIMIENTO REAL Y  
PREVISTO, 1965 - 1975



régimen impuesto por las agencias crediticias oficiales. A su vez, la experiencia y los conocimientos que adquirieron los campesinos no podían aplicarse en el nuevo sistema, porque la actividad agropecuaria suponía un gran consumo de fertilizantes, herbicidas y plaguicidas y la utilización de maquinarias, elementos prácticamente desconocidos en la región antes de la aplicación del Plan. Estos mismos elementos contribuyeron a eutroficar las lagunas y los drenes. Lo primero afectó el desarrollo de la fauna acuática, y lo segundo impidió la libre circulación del agua. Por otra parte, los plaguicidas y herbicidas contaminaron el agua. En 1975 se aplicaron cerca de 400 000 litros de estos productos. Además tanto las instituciones oficiales (los ingenios, el Fideicomiso) como los ejidos mismos han adquirido gran número de tractores y otros implementos para facilitar el trabajo. No obstante, dada las especiales condiciones climatológicas, la falta de experiencia y las dificultades surgidas en las relaciones laborales, la productividad de esta maquinaria es baja y el desperdicio de recursos es elevado.

### 3. Las consecuencias sociales

Todos los cambios producidos en el medio físico que se han señalado repercutieron en el medio social. Casi todas las actividades del proyecto exigieron el desplazamiento de poblaciones con los consiguientes costos sociales. Una población de casi 3 000 personas tuvo que abandonar su lugar de origen, donde se construiría el vaso de la presa Netzahualcóyotl, en tanto que 1 690 familias que representaban el 36% de la población original se desplazaron simplemente porque no les agradó el proyecto. Las 2 990 familias restantes que vivían aisladas en el campo, en una microsociedad, tuvieron que reubicarse en centros urbanos. Todas sus relaciones inter e intrafamiliares se vieron modificadas, ya que la célula familiar tuvo que desintegrarse para poder tener acceso a una vivienda dentro del nuevo poblado, donde únicamente tenía cabida una familia nuclear.

El paternalismo de las instituciones, evidente durante todo el desarrollo del proyecto, plantea interrogantes acerca del poder de autodeterminación y participación de los ejidatarios en el proceso. Parece que en un principio se trató de desarrollar la capacidad de decisión autónoma de los ejidos. Sin embargo, los conflictos institucionales y la formación de grupos antagónicos al Plan causaron problemas, dudas y dificultades, razón por la cual se optó con frecuencia por imponer las soluciones a los conflictos. En algunas etapas del desarrollo del Plan, fue necesaria la intervención decidida del Estado con el objeto de salvaguardar las inversiones realizadas. De este modo, el estilo de desarrollo adoptado no contempló la participación de la población. Siempre ha estado limitada la capacidad de autogestión del campesino y al no respetarse sus características culturales, prácticamente se le ha privado de administrar y controlar su propio desarrollo.

Mientras se complicaba el mecanismo de decisiones, el proceso productivo seguía el mismo rumbo, lo que obligaba a los campesinos a depender en mayor medida de las mismas instituciones rectoras. A través del crédito, las decisiones productivas quedaron en manos de las instituciones de mayor poder económico. Se calcula que en 1976 la deuda media por familia era de \$ 5 000 a \$ 6 000 y aun el Fideicomiso prestó 60 dólares por año a los socios para cubrir sus cuotas de seguro social. Dada la complicación de los sistemas productivos, el campesino ha pasado a depender de los técnicos; se calcula que por cada cuatro campesinos existe un empleado del sector público.

El bajo grado de receptividad del campesino es, sin duda, un problema grave que aqueja a las autoridades. Se plantea el problema de integrarlo al proceso productivo y al mecanismo de decisiones, para lo cual se requiere que él pueda comprender y evolucionar rápidamente.

Aunque el campesino ha perdido independencia, su sentimiento de seguridad ha mejorado. Las manifestaciones de este sentimiento son de diversa índole. Eliminado el riesgo de las inundaciones el productor puede invertir más fácilmente. En la zona protegida, que queda fuera del proyecto, esa seguridad rige; dentro del proyecto no hay certeza de que la cose-

cha produzca beneficios debido al sistema administrativo y crediticio, pero en cambio el campesino tiene la seguridad de recibir una remuneración por cada jornada trabajada, independientemente de que la cosecha fructifique o de que haya o no utilidades, por lo demás esta compensación nunca la recibió, antes del proyecto. También en cuanto a la tenencia de la tierra ahora se siente más seguro, puesto que sus derechos están debidamente legalizados.

Con todo, en cierto grado la gente vive mejor; la mujer tiene una gama de opciones ligeramente mayor. Tienen casas, en muchos casos con agua potable y luz, y los servicios de educación y salud son muy superiores a los anteriores. Sus ingresos monetarios son mayores pero también lo son sus gastos. Según cálculos aproximados el ingreso fue de \$ 2 000 por familia durante el año 1975, esto es cuatro veces superior al de 1962. El nuevo estilo de vida representa una ruptura de la economía de subsistencia; en él el campesino que no trabaja tiene pocas posibilidades de comer, dado que ya no produce para el autoconsumo. Existen indicios de la existencia de un posible empeoramiento de la dieta entre 1968 y 1971; a lo menos el nivel alimenticio medio (1 830 calorías) continúa siendo deficiente en comparación con el nivel recomendable (2 210 calorías),<sup>127</sup> no obstante el progreso alcanzado en la producción de alimentos a raíz de la puesta en marcha del Plan.

#### IV. CONCLUSIONES

Un hecho es patente en toda evaluación retrospectiva: resulta muy fácil señalar los errores y fuerte la tentación de asignar cuotas de culpabilidad, sin embargo, nuestro propósito es recoger lecciones aplicables al futuro.

El impacto ecológico de los cambios radicales que se proponían para la zona de La Chontalpa (incluidos la destrucción general del hábitat y de muchas especies de la flora y la fauna) pasó inadvertido a los autores del proyecto. Así la protección natural contra los vientos, los deslaves causados por el desmonte, la salinidad, la erosión costera y los otros fenómenos surgidos posteriormente, no estuvieron presentes en las evaluaciones o preocupaciones originales quizá —y no cabe sorprenderse— debido al estado de los conocimientos que al respecto se tenía entonces.

En el manejo de los recursos se buscaron soluciones cada vez más complejas y costosas. Frente a este hecho se plantea la duda de si era realmente necesario concebir el drenaje completo de la zona para facilitar el cultivo intensivo en ella. Así como, también, si era necesario o conveniente concebir las 91 000 hectáreas como una sola zona, dividida en unidades iguales, con una serie de actividades parecidas. Dadas las grandes variaciones exis-

<sup>127</sup> Instituto Nacional de Nutrición, *Encuestas nutricionales en México*, vol. I, México, D.F., 1974, p. 332.

tentes dentro de una zona aparentemente homogénea, parece apropiado, según los conocimientos que se tienen actualmente, plantear la posibilidad de diversificar la producción de la zona.

Otro aspecto digno de señalar es la no utilización de los recursos disponibles. Todavía queda una gran proporción de la superficie sin cultivar y un buen número de pozos y drenes que no están en funcionamiento. Se explica esto último por la falta de nivelación de la tierra, el suministro inadecuado de electricidad, y las deficiencias en los programas de crédito y de capacitación. La subutilización de los drenes se debe al crecimiento aparentemente incontrolable de la maleza que obstaculiza el escurrimiento. Los terrenos quedan ociosos por falta de recursos financieros. Quizá hubiera sido más aconsejable planificar el desarrollo de este proyecto experimental en varias fases, a fin de ejecutar en forma escalonada los distintos programas, de acuerdo con los progresos que se fueran alcanzando en cuanto a capacidad administrativa, conocimientos de la zona, grado de aceptación de la gente, y disponibilidad de recursos financieros y técnicos. Al hacer un análisis retrospectivo se observa que la decisión de adoptar una escala tan amplia para el proyecto constituyó uno de los obstáculos técnicos más importantes cuando llegó el momento de afinar un programa que permitiera resolver las necesidades y aprovechar las posibilidades de la zona.

Finalmente, llama la atención que se haya emprendido una obra de la envergadura de La Chontalpa, sin contar previamente con una sólida base de información. No existía un estudio ecológico serio ni datos adecuados sobre aspectos tan esenciales como el clima, los suelos, los mantos freáticos y aun la topografía. Faltó una visión prospectiva y global, junto a la comprensión de las limitaciones institucionales para tomar una determinación definitiva con respecto al Plan y a los factores que influyen en un desarrollo autóctono.

## BIBLIOGRAFIA

- BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO, *Plan Chontalpa, Informe de la Misión Evaluadora*, Tabasco, 1971.
- BANCO NACIONAL DE CREDITO RURAL, *Programa de desarrollo agropecuario e industrial de La Chontalpa*, México, diciembre de 1974.
- BARKIN, David, *Desarrollo y reorganización campesina. La Chontalpa como reflejo del problema agrario mexicano*, Centro de Ecodesarrollo, Editorial Nueva Imagen, México, 1978.
- CASCO MONTOYA R., *Développement et environnement dans le tropique mexicain. Etude de l'aménagement de La Chontalpa*. Ministère de l'Éducation Nationale, École Pratique des Hautes Études, VI Section - Sciences Économiques et Sociales, Centre International de Recherche sur l'Environnement et le Développement, *Travaux et Études* N° 2, París, 1974.
- CIEPS de México e Italconsult de Argentina, *Plan Piloto El Limón*, México, 1965.
- COMISION DEL GRIJALVA, *Informe cronológico del desarrollo de la primera fase. Plan Chontalpa*, Secretaría de Recursos Hidráulicos, México, 1971.
- COMISION DEL GRIJALVA, *Proyecto de La Chontalpa, Tabasco, Primera Etapa*, versión mimeografiada. Secretaría de Recursos Hidráulicos de México, 1965.
- ECHEGARAY BABLOT, L., "Somera descripción de las condiciones hidrológicas de la Cuenca Grijalva-Usulután", *Ingeniería hidráulica en México*. Secretaría de Recursos Hidráulicos, vol. I, N° 1, 1956; "Las inundaciones en Tabasco", *ibidem*, vol. X, N° 1, 1956; y "Algunas consideraciones sobre la planeación de las obras en la Cuenca del Grijalva", *ibidem*, vol. II, N° 1, 1957.
- LEYVA PEÑA, L., *El Plan de la Chontalpa (Balance crítico)*, tesis profesional ENE, UNAM, México, 1970.
- NUÑEZ JIMENEZ, A., *Organización y producción agropecuaria en el Plan Chontalpa*, tesis profesional, Escuela Nacional de Economía, Universidad Nacional de México, 1975.
- PROYECTO LA CHONTALPA, TABASCO, obras complementarias a la primera fase de la primera etapa, México, 1972.
- PRESA RAUDALES DE MALPASO, México, 1960.
- REVEL-MOUROZ, J., *Mexique. Aménagement et colonisation du tropique humide*, Travaux et mémoires de l'Institut des Hautes Études de l'Amérique Latine, N° 27, París, 1971.
- RODRIGUEZ CASTRO, I., *El ejido colectivo: última esperanza*, publicación del Gobierno del Estado de Tabasco y la Comisión del Grijalva, 1975.
- RODRIGUEZ SIERRA, P., *Beneficio socio-económico aportado a la región de La Chontalpa con una obra de ingeniería*, tesis profesional, Facultad de Ingeniería, UNAM, México, 1970.
- ROMERO ORDONICA, S., y FUENTES, C., *Desarrollo del Plan Chontalpa*, en Iván Restrepo F., *Los problemas de la organización campesina*. Seminario sobre organización campesina y desarrollo agroindustrial, Oaxtepec, Morelos, 1975.
- ROSENFELD, H., y otros, *Análisis de los problemas administrativos del Plan Chontalpa*, Secretaría de la Reforma Agraria, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), diciembre de 1976.

## Capítulo X

### PREVENCIÓN DE CRECIDAS EN EL DELTA DEL ORINOCO Y SUS EFECTOS AMBIENTALES: EL PROYECTO CAÑO MANAMO, VENEZUELA<sup>128</sup>

Eduardo Buróz Castillo  
Juan Guevara Benzo

#### *Introducción*

El aprovechamiento de los deltas de los ríos ha interesado tradicionalmente al hombre. En general, en estas zonas existen ecosistemas de gran productividad por su riqueza en nutrientes derivada de la acumulación continua de material de arrastre y sedimentos que los ríos acarrearán desde las partes altas.

Para aprovechar los deltas suele ser preciso realizar una serie de intervenciones que pueden alterar el precario equilibrio de los ecosistemas que los constituyen dando origen a una cadena de secuelas negativas. Sin embargo, dado que sus posibilidades de aprovechamiento en condiciones naturales son limitadas, se procura elaborar técnicas de explotación que contribuyan a contrarrestar los efectos negativos. La evaluación de las experiencias recogidas en algunos deltas resulta un valioso instrumento para orientar las acciones en casos similares o para reorientar el uso de los recursos en las zonas en que imperan condiciones análogas. En un esquema simplificado, el aprovechamiento agrícola de los deltas se limita al control del agua que, por efecto de las inundaciones de origen fluvial, de la marea dinámica, o de los depósitos de origen pluvial, afectan los suelos agrícolas fértiles de los deltas.

<sup>128</sup> Este capítulo es un resumen del estudio preparado para CEPAL/PNUMA por los autores como parte del proyecto ADEMA titulado *Aprovechamiento de las regiones deltaicas: su efecto sobre el ambiente: un caso en el delta del Río Orinoco*, Caracas, noviembre de 1976.

En Venezuela en el delta del río Orinoco es objeto de interés nacional tanto para quienes desean conocerlo, dado que es el habitat de uno de los más ancestrales grupos étnicos del país, el grupo Warao, como por lo que significa el aprovechamiento de su potencial riqueza agrícola, pesquera y forestal. Por estos motivos, se han efectuado una serie de estudios de la más diversa índole en la zona deltaica, entre los cuales destacan los que confirmaron la riqueza agrícola del delta, motivando el planteamiento de obras de ingeniería para su cabal aprovechamiento; los estudios posteriores destinados a evaluar el comportamiento del ecosistema modificado, y las experiencias prácticas obtenidas a través de la explotación agrícola de los suelos recuperados.

En el presente informe se analizan los principales efectos ambientales del manejo del agua y recursos afines (suelos, bosques, etc.) en la zona deltaica del río Orinoco, y se hace especial referencia a las obras de control de las aguas y de recuperación de las tierras que se han realizado en el sector del caño Mánamo. Se acopian así antecedentes que permiten incorporar variables ambientales a la planificación, proyecto y manejo de los recursos hidráulicos y de otros recursos conexos.

## I. DESCRIPCION DEL SISTEMA

Para los efectos de este estudio se distinguen tres sistemas en la zona del delta del río Orinoco, que corresponden al delta propiamente tal (véase el mapa X-1), a la zona de influencia de las obras de reducción de las inundaciones fluviales (véase el mapa II-3) y a la isla de Guara (véase el mapa X-2). El segundo sistema mencionado comprende las superficies anegadizas que se encuentran al sudeste del estado de Monagas y el departamento Tucupita del Territorio Federal Delta Amacuro. Las islas Manamito, Guara, Tucupita y Macareo, ubicadas entre los caños Guara y Macareo, se hallan en la zona de influencia de estas obras. Las obras de protección incluyen obras de regulación sobre el caño Mánamo y diques marginales a los caños Mánamo, Macareo, Macareito, Tucupita y Cocuinita.

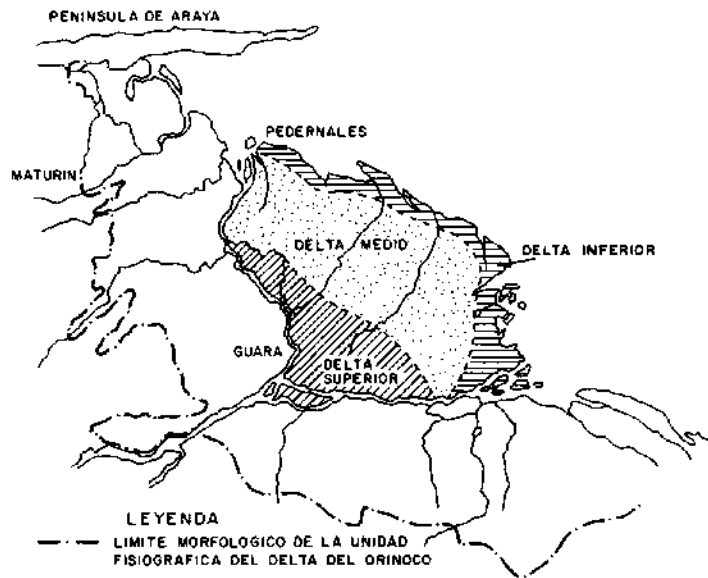
### 1. *El delta*

#### a) *Aspectos biofísicos*

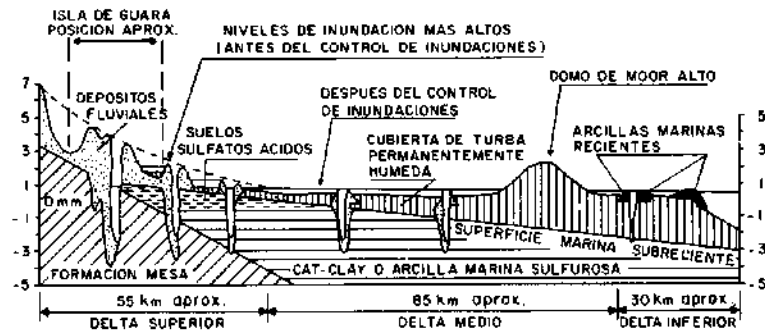
El delta del río Orinoco se encuentra enmarcado al norte por la península y golfo de Paria; al este, por la serranía del interior; al sur, por la sierra de Imataca, y al oeste, por los llanos orientales. Con una superficie total aproximada de 22 500 km<sup>2</sup>, presenta como paisaje predominante una planicie sedimentaria fluvio-marina con una pendiente inferior al 10/o y elevaciones que no sobrepasan los 10 metros sobre el nivel del mar.

# EL DELTA DEL RIO ORINOCO :

## A - REGIONES DEL DELTA



## B - CORTE ESQUEMATICO DEL DELTA MOSTRANDO EL MATERIAL PEDOLOGICO



FUENTE: H. DOST, "INVESTIGACION SOBRE CAT-CLAY EN EL DELTA DEL ORINOCO", (1970-1971)



Su clima se caracteriza principalmente por las variaciones espaciales y temporales de las precipitaciones. Se reconoce un régimen bimodal de lluvias, con máximos entre junio y agosto y entre octubre y diciembre, y mínimos entre febrero y abril. El balance hídrico es positivo durante siete meses del año. La temperatura es constantemente alta, con valores medios anuales que oscilan entre 25.5 y 26.5° C.

La hidrografía del delta se organiza en tres sistemas: el del propio río Orinoco y sus ramales, con su caudal repartido en 810/o en el río Grande y 190/o en el caño Macareo y sus difluentes; el de los llanos nororientales, constituido por ríos menores, como el San Juan y el Guanipa, y el del golfo de Paria y el Océano Atlántico que actúa sobre la circulación estuarial a través de las mareas.

El comportamiento del río Orinoco en su tránsito hacia el mar y la acción recíproca de éste, además de la conducta de las aguas de lluvia, provocan inundaciones, sedimentación y formación de estuarios.

Las inundaciones fluviales en el delta se originan por desborde de los caudales que exceden la capacidad del cauce, como ocurriría en los casos ejemplificados en el cuadro X-1.

Cuadro X - 1

DISTRIBUCION DE CAUDALES EN LOS DISTINTOS BRAZOS DEL RIO ORINOCO PARA CRECIDAS CON DIFERENTE PERIODO DE RETORNO

| Curso                    | Caudal medio anual (m <sup>3</sup> /seg.) | Gastos máximos, incluidos derrames según la frecuencia (m <sup>3</sup> /seg.) |         |          |
|--------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|---------|----------|
|                          |                                           | 10 años                                                                       | 50 años | 100 años |
| ORINOCO                  | 69 000                                    | 84 000                                                                        | 97 500  | 102 000  |
| Río Grande               | 55 700                                    | 67 900                                                                        | 78 500  | 82 300   |
| Brazo Macareo            | 13 300                                    | 16 100                                                                        | 18 500  | 19 700   |
| Caño Macareo             | 5 400                                     | 6 500                                                                         | 7 500   | 8 000    |
| Caño Mánamo <sup>a</sup> | 7 900                                     | 9 600                                                                         | 11 000  | 11 700   |

Fuente: Corporación Venezolana de Guayana, *Obras del delta del Orinoco. Informe Preliminar*, 1966.

<sup>a</sup> Capacidad del cauce: 8 000 m<sup>3</sup>/seg.

Las inundaciones de origen pluvial están vinculadas a las características fisiográficas del delta que hacen que durante la estación lluviosa quede agua atrapada en las cubetas, la cual drena muy lentamente. Las inundaciones de origen fluvio-marino se deben al comportamiento de las aguas del

río, al variar el nivel de referencia en la descarga como consecuencia de las oscilaciones naturales del mar. Las inundaciones de origen marino se originan, a su vez, por el efecto recurrente de las mareas en los caños del delta inferior.

La acción recíproca del mar provoca, además de la formación de estuarios, la penetración de una cuña de agua salada a través de los brazos del delta, especialmente en temporadas de aguas bajas y marea alta. Según algunas muestras tomadas durante la temporada de aguas bajas mínimas medias (marzo), el límite de 400 ppm<sup>129</sup> se obtiene a unos 60 km tierra adentro, medidos desde la desembocadura del caño Mánamo, lo que puede considerarse como índice de la intrusión salina.

El delta está casi totalmente cubierto con sedimentos del holoceno, consistentes en arcillas silíceas envueltas a veces con margas. Sobre la formación mesa se depositaron sedimentos marinos, sobre éstos se han acumulado depósitos fluviales y se han formado turberas.

Por su composición, los suelos del delta se dividen en minerales y orgánicos, predominando los primeros (750/o); los segundos (250/o) consisten en su mayoría en turbas ácidas. Los suelos minerales derivan de material fluvial y marino.

En el delta superior, donde se encuentra la isla de Guara, la maduración de los suelos ha ocurrido en las partes altas o bordes de la isla, no así en las cubetas de las islas que permanecen inundadas. El control de las inundaciones y la construcción de drenajes han modificado esta condición natural.

El proceso de maduración de los suelos puede dividirse en físico y químico. La maduración física es el resultado directo de la extracción de agua de los sedimentos producida por descenso del nivel freático, evaporación y evapotranspiración, y constituye un proceso irreversible pues al perderse el espacio poroso debido al secado, el suelo no logra recuperar dicho espacio. Una de las expresiones más conspicuas de esta forma de maduración es la subsidencia de los suelos orgánicos y minerales. La intervención del hombre, a través de la implantación de sistemas de drenaje, produce la formación de grietas anchas debidas al componente horizontal de la disminución del volumen, debido al alto contenido hídrico original. Si en los rebalses y cubetas turbosas se baja la mesa de agua, se promoverá una maduración progresiva del suelo, acompañada de una contracción significativa de sus capas de turba y una considerable subsidencia final de la superficie.

Esta última constituye uno de los elementos más importantes del proceso de maduración física al provocar el drenaje y la recuperación de sedimentos blandos que contienen gran cantidad de agua y son ricos en arcilla y materia orgánica. El grado de maduración, su profundidad y asentamien-

<sup>129</sup> La concentración máxima aceptable para consumo de agua potable de acuerdo con la OMS es de 500 ppm; sin embargo, en razón de las condiciones de consumo directo que tendrían éstas, la C.V.G. fijó el límite en 400 ppm de sólidos totales.

to dependen de la profundidad del drenaje. Las condiciones previas de maduración de los terrenos están íntimamente relacionadas con el grado de maduración que se supone éstos deben alcanzar mediante el drenaje por lo que se sugiere considerar el grado de maduración de los suelos al clasificarlos para su recuperación por medio del drenaje.

La adecuada maduración física de los suelos ya sea natural o artificial, es básica para su aprovechamiento agrícola; por ejemplo, en suelos no maduros sólo crecen plantas sin valor comercial alguno, como el rábano (*Montrichordia arborescens*); en tanto que si existen unos 30 cm de maduración los suelos pueden aprovecharse en cultivos hortícolas si bien no soportan cultivos anuales de raíces profundas. Una excesiva maduración puede afectar la producción de pastos.

En condiciones naturales la maduración física de los suelos con vegetación de áreas sujetas a variaciones de los niveles de agua es gradual, y forma horizontes homogéneos parcialmente maduros hasta una profundidad de equilibrio dada. La maduración física originada por el drenaje artificial es violenta y produce perfiles verticalmente heterogéneos cuyo grado de maduración disminuye con la profundidad. En los suelos drenados artificialmente las capas superiores tienen una maduración total que decrece en las capas más profundas; por el contrario, en condiciones naturales, la maduración superficial es sólo parcial.

Por maduración química se entiende el proceso mediante el cual los sedimentos con contenido de sulfuros se oxidan por exposición al aire, produciéndose ácidos que bajan el pH y solubilizan el aluminio y el hierro con su correspondiente acción tóxica para las plantas.

El ácido puede neutralizarse o lavarse, lo que ocurre en condiciones naturales por la presencia de bases o el desplazamiento de volúmenes de aguas que contienen gran cantidad de ácidos. Dado que en los suelos del delta del Orinoco no existen bases que neutralicen el ácido sulfúrico, solamente el lavado puede eliminarlo, lo que ocurre en forma muy limitada, ya que la oxidación de los sulfuros en estas condiciones es igualmente muy escasa porque los suelos sulfurosos permanecen sumergidos la mayor parte del tiempo.

Esta acidificación de los suelos guarda estrecha relación con el proceso genético, ya que los sedimentos marinos con alto contenido de sulfuros al oxidarse producen suelos sulfatoácidos.

Las clases de suelos de buena capacidad agrológica (clases I, II y III) son escasas en la región deltaica: 77 884 hectáreas si se aplican métodos de riego y drenaje, y 64 260 hectáreas en un sistema de agricultura de lluvias; ambas cifras corresponden a un total de 3 555 066 hectáreas. Las clases pecuarias típicas (clases V y VI) son también relativamente escasas. Los terrenos más abundantes (clase VIII y complejo VII-VIII) corresponden a suelos orgánicos (turberas) y a suelos de manglares.

La vegetación del delta puede clasificarse como selva de tipo monzónico, con árboles de poca altura y palmas. Los tipos de formaciones vegetales reconocibles son los de selva veranera siempre verde, sabanas húmedas,

pantanos herbáceos, palmar de pantano, selva de pantano y manglares (véase el gráfico X-1).

#### b) Aspectos socioeconómicos

Al examinar la población del Territorio Federal Delta Amacuro (cuyo 720/o se ubica en la zona de influencia de las obras de prevención de las inundaciones), se aprecia un crecimiento lento entre 1936 (19 903 habitantes) y 1961 (33 979 habitantes), principalmente durante los últimos once años del periodo (en que sólo se agregaron 331 personas al total). Entre 1961 y 1971 el incremento de la población fue mucho más significativo al pasar de 33 979 a 48 139 personas; 630/o de dicho aumento corresponde a la evolución demográfica del departamento de Tucupita.

Hacia 1966, había disminuido la importancia relativa de la minería y el petróleo, sobre todo la producción y refinación del crudo, si bien ambos representaban un aporte al producto regional bastante mayor que las demás actividades económicas.

En esa misma época la agricultura estaba constituida por pequeñas empresas de subsistencia familiar y de muy bajos rendimientos. La ganadería, sector muy importante de la economía regional, se practicaba en las sabanas del delta que, en su mayor parte, eran de libre pastoreo, y cuyo usufructo estaba sujeto a un escaso número de medidas restrictivas.

El censo agropecuario en 1961 señalaba que ocho productos ocupaban 910/o del área cultivada: maíz, arroz, yuca, leguminosas, plátanos, bananos, cacao y café. (Véase cuadro X-2.) La mayor parte de la producción se consumía en la misma zona.

Al considerar la evolución más reciente de la producción agrícola, se aprecia cierto deterioro en algunos rubros (arroz, café), ligado al mejoramiento de otros (yuca). Se evidencia, además, una baja general de la producción agrícola en los años 1973 y 1974, con escasas excepciones.

Los datos de 1966 del cuadro corresponden a la situación anterior al desarrollo del proyecto de caño Mánamo, y los de los años 1971 a 1974, a la situación posterior. Se aprecia que la situación anterior estuvo sólo cerca de un 200/o por debajo del punto culminante de la situación posterior (1971) y, subió por lo menos, al doble del año más reciente consignado (1974).

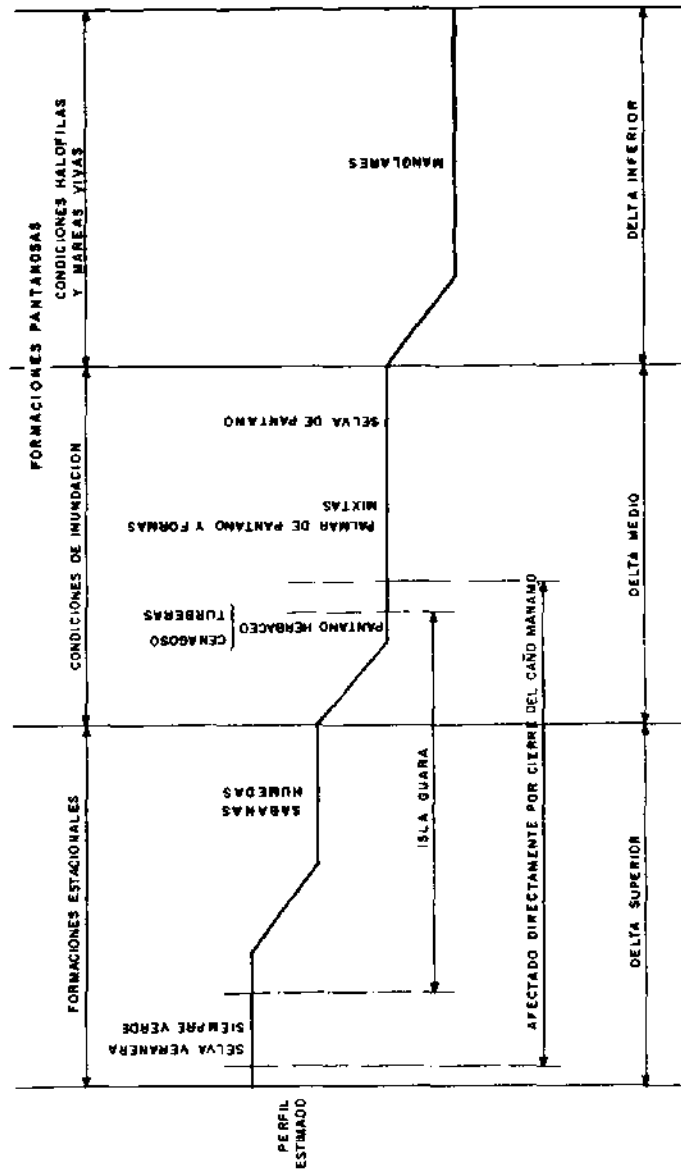
## 2. La isla de Guara

#### a) Aspectos biofísicos

La isla de Guara se encuentra al sudoeste de la zona protegida por las obras de prevención de las inundaciones y está bordeada por el este y el norte por el caño Mánamo y por el oeste y el sur por el caño Guara. Su superficie bruta es de 23 000 hectáreas. Topográficamente tiene forma de plato, con bordes que se elevan en algunos sitios hasta seis metros sobre el

Gráfico X-1

# DELTA DEL ORINOCO : FORMACIONES VEGETALES



Cuadro X - 2

**DELTA DEL ORINOCO: ESTIMACION DE LA PRODUCCION  
AGRICOLA Y GANADERA Y DE SU VALOR**

| <i>Cultivos y ganado</i> | <i>Superficie en producción (ha)</i> | <i>Rendimiento (Kg/ha)</i> | <i>Valor de la producción por ha (dólares/ha)</i> | <i>Producción total (toneladas)</i> | <i>Valor total de la producción (miles de dólares)</i> |
|--------------------------|--------------------------------------|----------------------------|---------------------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| Maíz                     | 5 400                                | 2 025                      | 170                                               | 10 935                              | 918                                                    |
| Yuca                     | 243                                  | 10 000                     | 332                                               | 2 430                               | 81                                                     |
| Leguminosas              | 132                                  | 920                        | 239                                               | 121                                 | 32                                                     |
| Plátanos                 | 1 491                                | 7 800                      | 448                                               | 11 630                              | 668                                                    |
| Cacao y café             | 3 058                                | 217                        | 408                                               | 664                                 | 1 248                                                  |
| Arroz                    | 226                                  | 2 000                      | 395                                               | 452                                 | 89                                                     |
| Total cultivos           | 10 550                               |                            | 288 <sup>b</sup>                                  | 26 232                              | 3 036                                                  |
| Pastos naturales         | 40 000                               |                            | 10.5                                              | 820                                 | 420                                                    |
| Total ganado             | 40 000                               |                            | 10.5                                              | 820                                 | 420                                                    |
| <i>Total</i>             | <i>50 550</i>                        |                            | <i>68.5<sup>b</sup></i>                           | <i>27 052</i>                       | <i>3 456</i>                                           |

*Fuente:* Corporación Venezolana de Guayana, *Obras del delta del Orinoco. Informe preliminar*, 1966.

<sup>a</sup> Estimaciones basadas en el censo agropecuario de 1961.

<sup>b</sup> Promedios.

nivel medio del mar y que descienden hacia el centro de la isla en donde la elevación alcanza a sólo un metro sobre el nivel del mar.

Antes de 1966, las aguas de los caños Mánamo y Guara cubría la isla con inundaciones de hasta tres metros que, unidas a las precipitaciones, dejaban la mayor parte del terreno bajo las aguas durante seis o siete meses al año.

En suelos ácidos de entre 4.3 a 5.7 pH, que en su mayor parte son de baja fertilidad, la vegetación se encuentra en tres áreas principales: la de selva veranera siempre verde en los bordes, la de sabanas húmedas dedicadas al pastoreo en verano y la de pantanos herbáceos.

*b) Aspectos socioeconómicos*

En 1968, la población total de la isla se aproximaba a 1 200 personas que dependían de la agricultura de subsistencia y la ganadería. Alrededor de 700 hectáreas de tierra se dedicaban a cultivos de cacao, yuca, cítricos, cambur, plátano, coco y maíz, mientras el resto eran sabanas durante diversos períodos del año.

En total, cerca de 5 150 hectáreas estaban ocupadas o declaradas en tal carácter por las familias residentes. Sus métodos de cultivo eran primitivos y su nivel económico, de subsistencia. No tenían experiencia en mecanización ni en técnicas agrícolas como la fertilización y el uso de plaguicidas.

## II. EVALUACION DE LAS CONSECUENCIAS ECOLOGICAS Y SOCIO-ECONOMICAS DE LAS OBRAS DE PROTECCION EN EL DELTA DEL ORINOCO

### 1. *Causales y etapas de la ejecución de las obras de protección*

La utilización de los suelos agrícolas del delta dependía de la solución de ciertas contingencias ambientales (cotas bajas y superficies llanas, inundaciones estacionales y condiciones pantanosas posteriores a las lluvias) para lo cual se hacía necesario construir obras de prevención de las inundaciones de origen fluvial y de drenaje superficial de las aguas de lluvia.

Para solucionar estos problemas se construyó un dique-carretera desde la carretera Barrancas-Maturín, a unos 10.5 km al norte de Barrancas, con una extensión de 28.5 km en dirección noreste hasta llegar al sitio de cruce del caño Mánamo. Este cruce fue construido como un cierre del caño (1966), pero luego se modificó para convertirlo en una obra de regulación (1967).

La estructura de control se mantiene parcialmente cerrada durante la temporada de aguas altas para limitar el flujo a un máximo de alrededor de 185 m<sup>3</sup>/seg, mientras que en el período de aguas bajas se dejan escurrir unos 200 m<sup>3</sup>/seg. Por la margen derecha y a partir del sitio del cierre, se extiende un dique marginal aguas arriba. En la isla de Guara se ejecutaron, además, obras de drenaje pluvial y de vialidad interna (1961-1975). En el cuadro X-3 figuran las inversiones realizadas por la Corporación Venezolana de Guayana en el delta entre los años 1966 y 1974.

Las obras de regulación realizadas permitirán prevenir la crecida centenaria que, de acuerdo con los cálculos, alcanzaría a 6.4 metros sobre el nivel del mar en Tucupita.

### 2. *Las condiciones agrícolas de la zona protegida antes y después de las obras de regulación*

En el gráfico X-2 se presenta el uso de la tierra según el III Censo Agropecuario (1961) y se señala el número de cabezas de ganado vacuno para ese año. Tales datos se comparan con los correspondientes al Censo de 1971 y con las estimaciones de la Corporación Venezolana de Guayana (CVG) para ese mismo año. Se indica igualmente la superficie cosechada total, mientras que en el cuadro X-4 se muestra el área cosechada por cultivos en

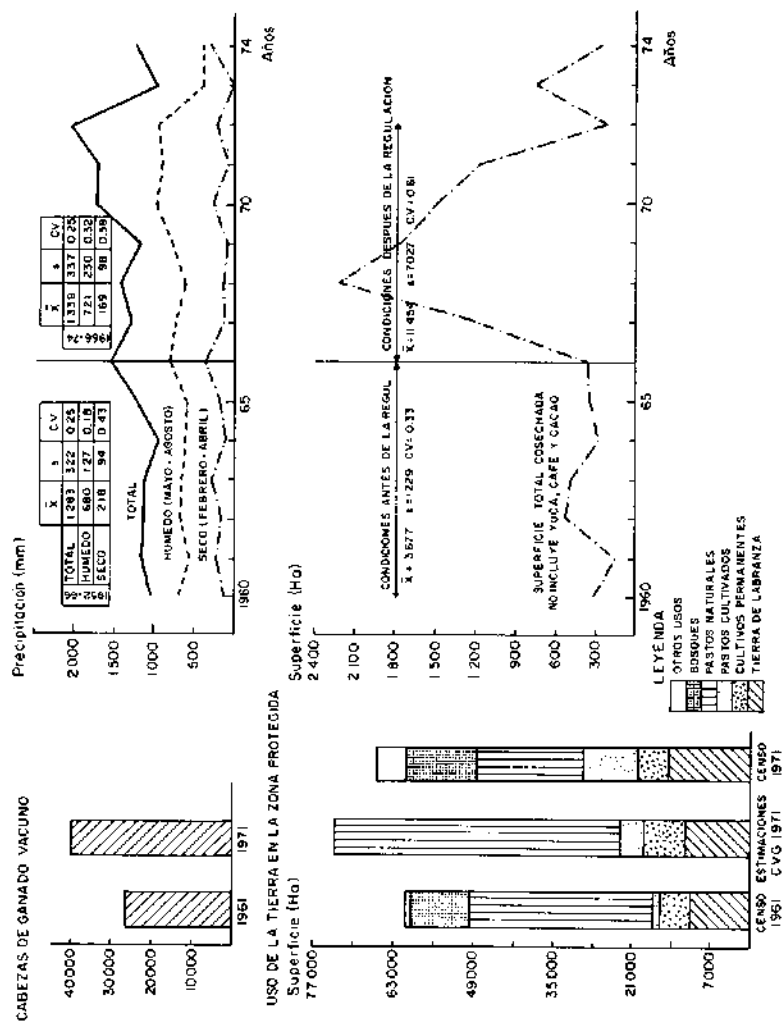
Cuadro X-3  
INVERSIONES EN OBRAS DE RECUPERACION DE LAS TIERRAS  
(Miles de dólares)

| Obras de recuperación<br>e inversiones conexas | 1966  | 1967   | 1968  | 1969  | 1970  | 1971  | 1972 | 1973  | 1974  | Total  |
|------------------------------------------------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|--------|
| <i>Obras de control del<br/>Caño Mánamo</i>    | 8 812 | 16 566 | -     | -     | -     | -     | -    | -     | -     | 25 378 |
| <i>Obras en la isla de<br/>Guara</i>           | -     | -      | 3 050 | -     | 643   | 1 282 | -    | 737   | 1 134 | 6 846  |
| Bienhechurías                                  | -     | -      | 119   | -     | 2     | -     | -    | -     | -     | 121    |
| Vialidad                                       | -     | -      | -     | -     | -     | 590   | -    | 9     | 252   | 851    |
| Drenajes                                       | -     | -      | 2 931 | -     | 641   | 455   | -    | 728   | 882   | 5 637  |
| Estación experimental                          | -     | -      | -     | -     | -     | 237   | -    | -     | -     | 237    |
| <i>Otras obras</i>                             | 68    | -      | -     | 1 635 | -     | 958   | -    | 1 574 | 1 115 | 5 350  |
| <i>Diques marginales</i>                       | -     | -      | -     | -     | -     | -     | -    | -     | -     | -      |
| Macarao                                        | -     | -      | -     | 1 348 | -     | -     | -    | 233   | 91    | 1 672  |
| Drenajes isla Tucupita                         | -     | -      | -     | 227   | -     | -     | -    | -     | -     | 227    |
| Drenajes isla Coetuna                          | -     | -      | -     | -     | -     | -     | -    | 576   | 561   | 1 137  |
| Drenajes isla de<br>Macarao                    | -     | -      | -     | -     | -     | -     | -    | 288   | 204   | 492    |
| Carretera dique                                | -     | -      | -     | -     | -     | -     | -    | -     | -     | -      |
| Barrancas-Carapal                              | -     | -      | -     | -     | -     | 772   | -    | 250   | -     | 1 022  |
| Topografía y dragados                          | 68    | -      | -     | 60    | -     | 186   | -    | 186   | 259   | 759    |
| Pavimentación<br>calles Coporito               | -     | -      | -     | -     | -     | -     | -    | 41    | -     | 41     |
| <i>Total</i>                                   | 8 948 | 16 566 | 6 100 | 3 270 | 1 286 | 4 580 | -    | 4 622 | 4 498 | 37 574 |

Fuente: Corporación Venezolana de Guayana, *Informes anuales*

Gráfico X-2

COMPARACION DE LAS CONDICIONES AGRICOLAS DE LA ZONA PROTEGIDA ANTES Y DESPUES DE LA REGULACION



el Territorio Federal Delta Amacuro, en el período comprendido entre 1960 y 1974.

De acuerdo con los datos de los censos de 1961 y 1971 hubo un incremento de las tierras destinadas al uso agropecuario y un extraordinario aumento en la superficie cosechada en los años siguientes a las obras de regulación (1967 a 1969). Sin embargo, como este notorio incremento parecía ser el producto de una situación anómala, cabía esperar un decrecimiento posterior de la superficie cosechada, como ocurrió en el período transcurrido en 1970 y 1974. El que esta disminución haya superado lo previsible se atribuye fundamentalmente a factores climáticos. Los años 1970, 1971 y 1972 constituyeron una secuencia de años húmedos; el año 1973 fue, por el contrario, un año de escasa precipitación e incluso sequía durante febrero y abril. No debe descartarse, sin embargo, la hipótesis de que haya habido transferencia de la actividad económica de la población. Los rendimientos de los cultivos no manifiestan cambios sensibles considerando los promedios para los períodos de 1960 a 1966 y de 1967 a 1974.

Antes de la construcción de los drenajes, en la isla de Guara existían explotaciones agropecuarias por un total de 14 170 hectáreas distribuidas en 700 hectáreas para la agricultura, 1 130 para la ganadería intensiva y 12 340 para la ganadería extensiva. El potencial agrícola de dicha isla se estimó en 7 050 hectáreas de agricultura, 4 600 de ganadería intensiva y 7 050 de ganadería extensiva, para un total aprovechable de 18 700 hectáreas. La utilización de este potencial debía lograrse en 20 años a partir de la construcción de los drenajes.

De acuerdo con los datos del cuadro X-5, se puede señalar que lo logrado hasta la fecha está por debajo de las estimaciones de la Corporación para 1976. Por su parte, el potencial total estimado actualmente para la isla es inferior al previsto en 1968, como consecuencia del deterioro de algunos suelos debido a su inadecuado manejo. Este potencial agropecuario variará según se ejecuten o no los canales terciarios y se controle adecuadamente el sistema de drenaje.

En el gráfico X-3 se ilustran las consecuencias económicas atribuibles en gran parte a los cambios en la condición de los suelos. La discrepancia entre los costos previstos y reales es el resultado de las obras adicionales que ha sido necesario realizar para corregir la inesperada degradación de los suelos. Además se indica que a pesar de esas inversiones, los beneficios brutos probablemente no alcanzarán los previstos originalmente. Cuando se demostró en 1968 la factibilidad económica del Proyecto Isla de Guara, se encontró una relación beneficio/costo de 3.4:1 al 70/o de interés. Ajustados los costos y las proyecciones sobre la base de la experiencia habida entre 1968 y 1976 se estima que la relación beneficio/costo bajará aproximadamente 1:1.

Cuadro X - 4

TERRITORIO FEDERAL DELTA AMACURO: SUPERFICIE COSECHADA  
(Hectáreas)

| Cultivos               | Años | 1960  | 1961  | 1962  | 1963  | 1964  | 1965  | 1966  | 1967   | 1968   | 1969   | 1970   | 1971   | 1972  | 1973   | 1974  |
|------------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|-------|
| <i>Permanentes</i>     |      | *     | *     | *     | *     | *     | *     | *     | *      | 3 415  | 3 060  | 3 033  | 3 088  | 3 013 | 2 391  | 2 700 |
| Cacao                  |      | *     | *     | *     | *     | *     | *     | *     | *      | 3 176  | 2 803  | 2 783  | 2 784  | 2 699 | 2 150  | 2 438 |
| Café                   |      | *     | *     | *     | *     | *     | *     | *     | *      | 239    | 257    | 250    | 304    | 314   | 241    | 262   |
| <i>Semipermanentes</i> |      | 20    | 19    | 90    | 454   | 601   | 646   | 751   | 777    | 2 240  | 2 009  | 2 046  | 1 677  | 854   | 705    | 1 513 |
| Plátano                |      | 20    | 19    | 90    | 454   | 528   | 570   | 632   | 665    | 2 079  | 1 708  | 1 761  | 1 447  | 681   | 635    | 1 351 |
| Cambur                 |      | -     | -     | -     | -     | 73    | 76    | 119   | 112    | 161    | 301    | 285    | 230    | 173   | 70     | 162   |
| <i>Anuales</i>         |      |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |        |       |        |       |
| Maíz                   |      | 57    | 105   | 1 750 | 1 583 | 421   | 662   | 943   | 9 425  | 18 572 | 13 653 | 11 211 | 7 971  | 488   | 6 566  | 488   |
| Arroz                  |      | 3 232 | 1 556 | 3 551 | 2 924 | 2 060 | 2 301 | 2 023 | 1 867  | 1 377  | 1 762  | 1 386  | 771    | 960   | 263    | 405   |
| Canaña                 |      | 3     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | 72     | 97     | 142    | 400    | 1 122  | 16    | 170    | 135   |
| Frijol                 |      | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -      | -      | 153    | 92     | 139    | 5     | 3      | 102   |
| Yuca                   |      | *     | *     | *     | *     | *     | *     | *     | *      | 1 774  | 371    | 415    | 182    | 104   | 179    | *     |
| Total                  |      | 3 312 | 1 680 | 5 391 | 4 961 | 3 082 | 3 609 | 3 708 | 12 141 | 27 475 | 21 150 | 18 583 | 14 950 | 5 440 | 10 277 | 5 343 |

Fuente: Ministerio de Agricultura y Cría, Anuarios estadísticos agropecuarios.

\* No hay información.

- No se sembró.

Cuadro X-5

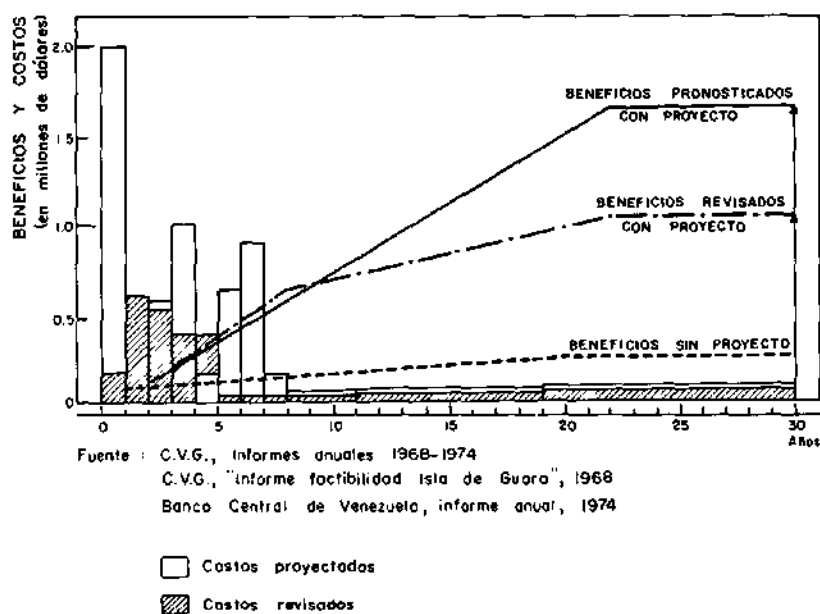
**ISLA DE GUARA: EVOLUCION DEL POTENCIAL AGRICOLA, 1976**  
*(Superficie en hectáreas y costo y valor de la producción en millones de bolívares)*

| Uso de la tierra    | Situación antes de la construcción de los drenajes |                     |                        | Estimación de la CVG para 1976 |                     |                     | Situación actual 1976 |                     |                     | Estimación potencial agropecuaria |                     |                     |                           |                     |                     |
|---------------------|----------------------------------------------------|---------------------|------------------------|--------------------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|-----------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------------|---------------------|---------------------|
|                     | Superficie a                                       | Costo de producción | Valor de la producción | Superficie a                   | Costo de producción | Valor de producción | Superficie            | Costo de producción | Valor de producción | Con obras complementarias         |                     |                     | Sin obras complementarias |                     |                     |
|                     |                                                    |                     |                        |                                |                     |                     |                       |                     |                     | Superficie                        | Costo de producción | Valor de producción | Superficie                | Costo de producción | Valor de producción |
| Agricultura         | 700                                                | 293                 | 490                    | 3 240                          | 1 359               | 2 265               | 2 211                 | 928                 | 1 546               | 5 540                             | 2 324               | 3 874               | 5 540                     | 2 324               | 3 098               |
| Ganadería intensiva | 1 130                                              | 59                  | 130                    | 2 518                          | 130                 | 290                 | 2 464                 | 128                 | 284                 | 4 560                             | 236                 | 525                 | 2 736                     | 141                 | 314                 |
| Ganadería extensiva | 12 340                                             | 61                  | 202                    | 10 224                         | 52                  | 167                 | 12 000                | 61                  | 195                 | 8 600                             | 43                  | 141                 | 5 160                     | 26                  | 85                  |
| Total               | 14 170                                             | 413                 | 822                    | 15 982                         | 1 541               | 2 722               | 16 675                | 1 117               | 2 025               | 18 700                            | 2 603               | 4 540               | 13 436                    | 2 491               | 3 497               |

*Fuentes:* Corporación Venezolana de Guayana. a) Informe de factibilidad. Proyecto Delta del Orinoco. Isla de Guara, 1968; Corporación Venezolana de Guayana. b) Informe anual 1974 y estimaciones propias.  
 AYCA. c) *Uso futuro de los suelos sugeridos para la Isla de Guara*, 1976; FLSACRI, Tucupita, agosto de 1976, comunicación personal, y cálculos propios.

Gráfico X-3

**EVALUACION DEL PROYECTO ISLA DE GUARA,  
PRONOSTICO ORIGINAL Y REVISADO DE RENDIMIENTO**



*3. Los efectos sociales del proyecto en la región deltaica*

La evolución de algunos indicadores sociales a partir de 1961 y, más específicamente, desde la habilitación de las tierras del delta parece confirmar, sin embargo, que las inversiones allí realizadas han provocado un mejoramiento general de las condiciones de vida en la región, cuyas principales causas se indican a continuación:

- El crecimiento significativo de la población después del cierre del caño Mánamo con respecto al período anterior a la realización de dicha obra.
- La notable urbanización experimentada en el Territorio Federal Delta Amacuro a causa del crecimiento de Tucupita con posterioridad al cierre del caño Mánamo.
- La atenuación del movimiento emigratorio en el período intercensal de 1961 a 1971 como lo demuestran las cifras de crecimiento de la población.

-- La marcada disminución del número de personas dedicadas a la agricultura --mucho más aguda si se considera la disminución porcentual-- mientras se ha incrementado la población dedicada a la construcción, servicios, comercio y demás actividades. En 1961, 62.280/o de la población económicamente activa trabajaba en agricultura, ganadería y labores afines; en 1971, ese porcentaje había bajado a 44.450/o. En cambio, el porcentaje de esa población que trabajaba en construcción, servicios públicos y privados y comercio, en conjunto, pasó de 25.870/o a 34.310/o entre los mismos años.

- El mejoramiento en las condiciones económicas y de salubridad de las viviendas del territorio habido durante el período comprendido entre 1961 y 1971.

- La estabilidad de las cifras correspondientes al número de personas por médico en el mismo período, aun cuando para 1975, el número de médicos había aumentado en más de 700/o respecto de 1971.

#### *4. Los efectos ambientales*

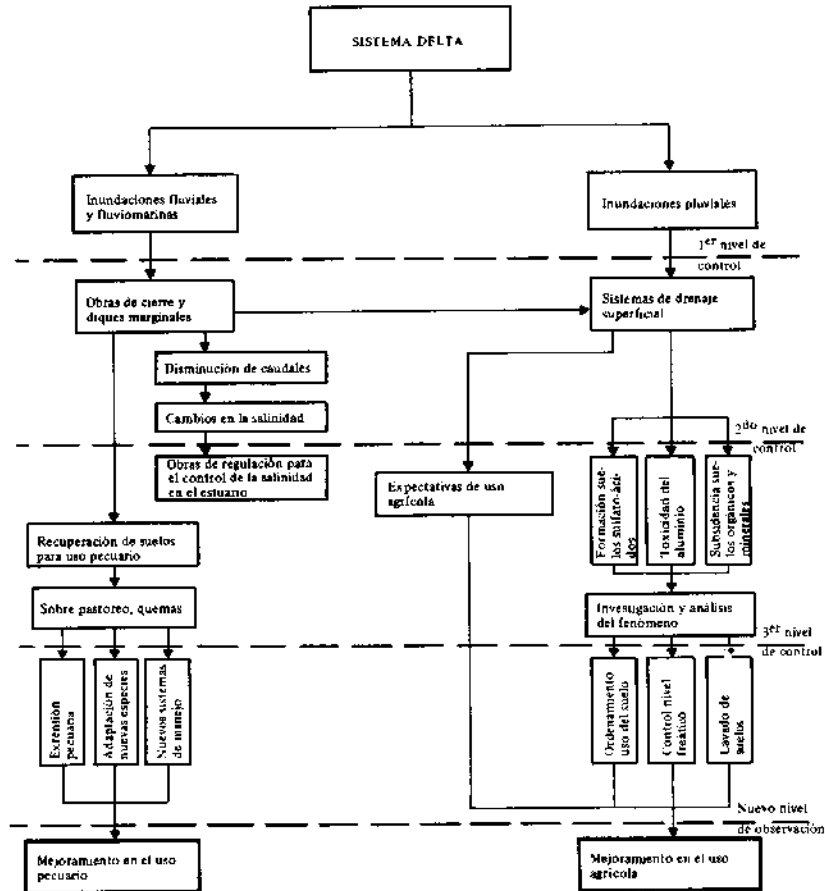
Las acciones ejecutadas para habilitar tierras agrícolas en la zona del delta tuvieron efectos ambientales en cada uno de los tres sistemas que allí se han reconocido. Las relaciones generales entre las acciones y sus efectos se indican en el gráfico X-4. Las alteraciones atribuidas a las obras del delta se pueden esquematizar como sigue:

a) Cambios en la salinidad del agua. Al impedir el acceso de agua dulce por el caño Mánamo, el avance de la cuña salina se extendió de 40 a 50 km por encima del máximo observado para las condiciones anteriores al cierre. Dado que las aguas se utilizan para el riego y abastecimiento de poblaciones en el tramo invadido, se decidió dejar pasar agua dulce al caño Mánamo a través de una estructura de regulación mediante la entrega de unos 210 m<sup>3</sup>/seg en la estación seca, con lo cual fue posible invertir el avance del agua salada y mantener la calidad del agua prácticamente igual que antes del cierre. (Véase gráfico X-5.)

b) Alteraciones en el drenaje superficial. El exceso de drenaje superficial de los suelos agrícolas provoca disminución de las superficies aprovechables como consecuencia de:

i) El desarrollo de los suelos sulfatoácidos. Cuando las capas de suelo expuestas a la oxidación se drenan artificialmente aumentan su contenido de ácidos que en la estación lluviosa, asciende por capilaridad, contaminando los horizontes superiores y creando otros problemas, como la solubilización del aluminio. Este mecanismo pudo ser constatado en la isla de Guara. En el gráfico X-6 se muestra la variación del pH del agua en el piezómetro E6 de la isla de Guara durante los años 1973 y 1974, cuando los sedimentos sulfurosos quedaron expuestos al aire como consecuencia de la sequía de 1973. El estudio del gráfico indica el período de oxidación, acidificación y lavado. Durante los meses secos de 1973, ocurrió el proceso de

## DELTA DEL RIO ORINOCO: IDENTIFICACION DE LOS EFECTOS AMBIENTALES



oxidación de la pirita; sin embargo, el agua freática, por estar debajo de los horizontes oxidados, no registró disminución del pH. Con el comienzo de la temporada lluviosa se inició la formación de ácido provocado tanto por el paso de agua de percolación a través de los horizontes oxidados, como por el ascenso del nivel freático; esta situación se reflejó en un elevado grado de acidez del agua. Al continuar las lluvias durante un largo período, el ácido producido fue lavado y el pH del agua tendió a neutralizarse.

ii) La toxicidad del aluminio. Junto al proceso de acidificación ocurre una descomposición de las arcillas lateríticas, las cuales, al ceder iones aluminio en forma libre, fijan los fosfatos necesarios para el metabolismo vegetal con efectos tóxicos para las plantas. Además, el exceso de aluminio

Gráfico X-5

VARIACION ESPACIAL DE LA SALINIDAD PARA CONDICIONES  
ANTES DEL CIERRE Y LUEGO DEL CONTROL DE CAUDALES

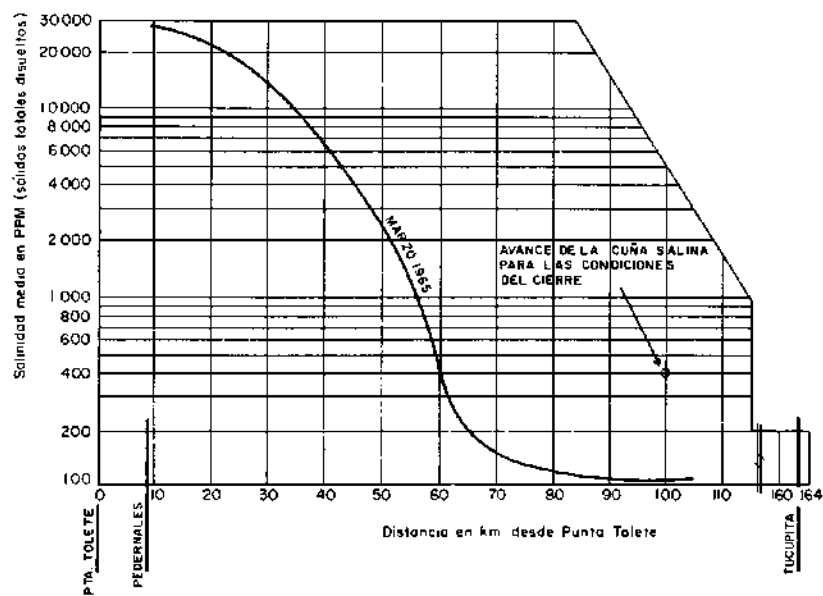
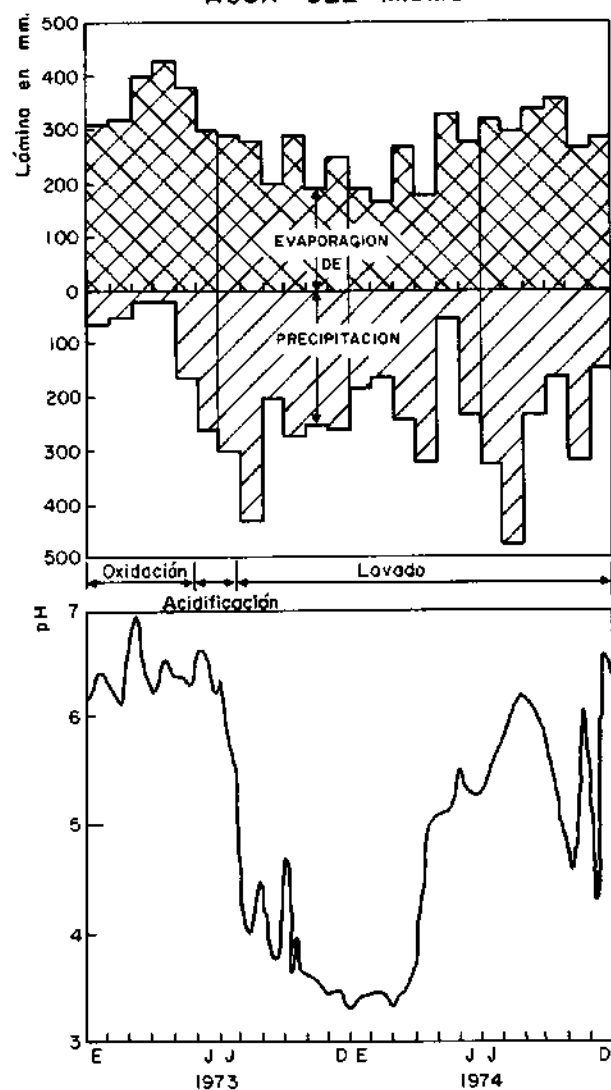


Gráfico X-6

ISLA DE GUARA : OXIDACION Y ACIDIFICACION  
DEL SUELO Y CAMBIO EN EL NIVEL DE  
AGUA DEL MISMO



FUENTE: YANES, ADOLFO "PLAN DE ACCION PARA LAS  
ISLAS TUCUPITA Y MACAREO EN EL T.F.D.A.,  
CNG, CARACAS 1976

se acumula en las raíces y puede reducir considerablemente la capacidad de éstas para transportar fosfatos desde el suelo al sistema vascular, haciendo que la planta sufra deficiencia de fosfato, fenómeno que no puede corregirse aplicándolo directamente al suelo.

iii) La subsidencia de suelos orgánicos y minerales. El descenso de la masa freática coincide en general con una notable contracción de las capas de suelo, debido a la reducción del contenido de agua y al aumento de presión de las capas superiores drenadas y más pesadas; todo ello suele traducirse en una considerable subsidencia de la superficie, en la que se forman grietas anchas por las cuales se pierde el agua de riego y lavado.

Para evaluar el conjunto de los efectos ambientales se empleó la matriz de Leopold a fin de obtener una visión cualitativa de las relaciones entre las nueve modificaciones<sup>130</sup> del sistema físico en el delta y los efectos positivos o negativos de dichas modificaciones en el estado de varios componentes de este sistema, así como la repercusión socioeconómica de estos cambios de estado.<sup>131</sup> La suma de todos estos fenómenos indica una declinación exponencial en el número de componentes que han sido afectados a cierta distancia de la represa de Caño Mánamo. En el subsistema de la Isla de Guara los daños mayores que han sido provocados por el drenaje y la deforestación son de alcance local, mientras que la represa y los diques afectaron el sistema completo del delta. La evaluación comprueba la hipótesis de que en los ecosistemas deltaicos, la alteración del régimen hidráulico tiene efectos sobre otros recursos naturales que componen el ambiente.

### III. ADMINISTRACION DEL SISTEMA E INCORPORACION DE LA DIMENSION ECOLOGICA EN LOS PROBLEMAS DE TOMA DE DECISIONES

Con el objeto de atender las necesidades específicas de desarrollo de las diferentes regiones del país, el sector público venezolano ha creado las llamadas Corporaciones Regionales. Dichas entidades realizan estudios, elaboran planes y proyectos y ejecutan obras en el ámbito de su competencia en estrecha coordinación y colaboración con los demás organismos del sector público y con las instituciones del sector privado interesadas en los proyectos locales. Dentro de esta concepción administrativa, para el desarrollo de la región de Guayana se creó la Corporación Venezolana de Guayana por Decreto Presidencial Nº 430 del 29 de diciembre de 1960.

El desarrollo esencialmente minero e industrial de la Guayana venezolana requirió un programa agropecuario complementario que, si bien no

<sup>130</sup> Desforestación, drenaje, control de inundaciones, caminos, cercados, canales, diques, cultivos y pastoreo.

<sup>131</sup> Véase Buróz y Guevara, *op. cit.*, anexo 2.

representaba un punto singular en cuanto a la decisión financiera, de no haberse acometido a tiempo, podría haber ocasionado problemas al desarrollo integral de la región.

Los estudios de la Corporación Venezolana de Guayana para el desarrollo agropecuario del territorio bajo su autoridad comenzaron en 1959, decidiéndose en 1965 llevar adelante el Proyecto del Delta del Orinoco. Entre 1965 y 1968 se determinó la zona en que empezaría el programa de explotación agrícola. En 1968 la Isla de Guara quedó bajo el área de competencia de la Corporación para iniciar allí dicho programa (Decreto 1247 del 12 de noviembre).

En el artículo 3 del decreto mencionado se señala que "La Corporación Venezolana de Guayana llevará a cabo un programa de desarrollo integral de la citada Isla de Guara dentro de las previsiones de la Ley de Reforma Agraria". En los considerandos del decreto se indica, además, que "la Corporación Venezolana de Guayana y el Instituto Agrario Nacional, en ejercicio conjugado de las facultades que les son propias, aseguran el cabal cumplimiento de los planes de desarrollo integral que el Estado desea aplicar en la Isla Guara".

El 12 de mayo de 1972 se firmó un convenio para desarrollar la zona protegida de las inundaciones entre el Ejecutivo Territorial, la Corporación Venezolana de Guayana, los Ministerios de Obras Públicas y de Agricultura y Cría, el Instituto Agrario Nacional, el Banco Agrícola y Pecuario y la Corporación de Mercadeo Agrícola. La Corporación Venezolana de Guayana actuaría como coordinador técnico y la Gobernación como coordinador administrativo. Puede observarse que el Ejecutivo Nacional consideró que el desarrollo de una región tan importante como la Guayana requería una autoridad única, responsabilidad que asignó a la Corporación. Sin embargo, la posición asumida por el Instituto Agrario Nacional sobre la dotación de tierras así como el desarrollo acelerado de las obras de drenaje por parte del Ejecutivo Territorial fueron algunas de las diferencias que impidieron el ejercicio de la autoridad única de desarrollo prevista para la zona.

De acuerdo con la Ley de Tierras Baldías y Ejidos, los baldíos en las islas del delta son inalienables. Debido a que la imposibilidad legal de vender tierras en dichas islas no afecta a la Isla de Guara, la Corporación de Guayana logró planificar su desarrollo como un proyecto experimental con la participación de diferentes usuarios. Sin embargo, cabe señalar que dicha planificación no se ejecutó dentro de dichos términos por las diferencias anotadas. La experiencia propuesta aún tiene vigencia, muy especialmente por la necesidad de realizar ensayos a escala comercial, lo que es importante si se tiene en cuenta la escasa información disponible sobre el desarrollo de los deltas. Esta experiencia, realizada conjuntamente con algunos programas de investigación como los de FUSAGRI en la estación experimental de la Isla de Guara, permite aclarar los interrogantes que aún se tienen sobre el desarrollo de esta región.

Al planificar las obras destinadas a la prevención de las inundaciones y sistemas de drenaje, se previeron algunos efectos posibles como la penetra-

ción de la cuña salina o el déficit de humedad edáfica en las partes altas; otros en cambio, como la acidificación de los suelos, no se consideraron debidamente.

Queda demostrado pues, que no basta el análisis de las variables significativas y que con frecuencia suelen despreciarse relaciones que son determinantes para los procesos. Por ejemplo, en el delta del Orinoco se consideró la variable significativa suelo y se evaluó el aspecto benéfico del drenaje, descuidándose el análisis de los procesos biofísicoquímicos concomitantes. Tampoco se evaluaron ciertos efectos a distancia, como los que afectaron al estuario.

La experiencia en el delta parece indicar la conveniencia de resolver el problema que plantea incorporar la dimensión ambiental a un proyecto de desarrollo, usando simultáneamente varios métodos entre los cuales se destacan: la identificación de relaciones causa-efecto relevantes; la simulación de procesos parciales o del comportamiento del sistema; la investigación de ciertos procesos tecnológicos (métodos agrícolas, control biológico, y otros), y la observación del comportamiento del ecosistema modificado para retroalimentar el o los modelos de simulación y tomar nuevas decisiones.

En relación con la conveniencia de incorporar variables ambientales al realizar la evaluación económica de los proyectos de desarrollo y la posibilidad de cuantificar los beneficios y costos asociados, puede sostenerse que su eficacia va a depender del conocimiento previo que se tenga de los efectos ambientales, especialmente los negativos, así como del costo de su solución.

#### IV. CONCLUSIONES

1. En el delta del río Orinoco existe un potencial aprovechable de recursos naturales. La distribución espacial de estos recursos indica que en el delta superior existen reservas de suelos para uso agropecuario; en el delta medio, éstas sólo permiten el uso pecuario restringido y el uso forestal controlado, y en el delta inferior existen posibilidades de desarrollo de los recursos vivos del estuario y de los manglares.

2. Las investigaciones y prácticas orientadas a aprovechar los terrenos recuperados deben continuar.

3. El conocimiento actual del sistema del delta permite sentar las bases científicas para su explotación si se tienen en cuenta los siguientes aspectos del problema:

— La ecología del delta está influida de manera determinante por su hidrología, el sistema de estuario, la maduración físicoquímica de los suelos y el régimen de inundaciones.

— Cualquier variación en el régimen hidráulico produce importantes cambios en la vegetación y los suelos.

— Dichos cambios pueden ser favorables y permitir un mejoramiento de las condiciones del suelo para su explotación agrícola, o bien pueden ser mutaciones desfavorables e irreversibles.

— Las prácticas de control del régimen hidráulico, que comprenden la alteración del régimen de inundaciones, el avenamiento de tierras anegadas y las variaciones del nivel freático, deben realizarse según un cuidadoso sistema basado en investigaciones específicas.

4. El análisis de los efectos causados por las obras de aprovechamiento sobre los ecosistemas debe utilizarse para desarrollar una tecnología que no produzca daños en el medio ambiente. Entre las principales prácticas de manejo están las que se señalan a continuación:

— Control del nivel freático, que exige investigación edafológica y de ingeniería.

— Lavado de suelos, que implica investigación sobre volúmenes de agua y determinación de la tecnología y sus efectos.

— Ordenamiento del uso del suelo, el cual debe basarse en una cartografía de suelos que proporcione entre otros, datos sobre la maduración actual de los suelos, ubicación del frente de oxidación de los sulfuros (tioxidación), contenido de pirita en los diferentes horizontes, densidad radicular y penetración de las raíces en los estratos sulfurosos reducidos, nivel del agua, datos sobre física de los suelos y constantes de humedad. La integración de los datos edáficos con los mapas topográficos debe permitir la ubicación de los niveles freáticos y del frente de tioxidación con respecto a un mismo dato.

— Adaptación y explotación de especies vegetales y animales afines a las condiciones particulares del delta, entre las cuales se destacan el búfalo de agua y el chiguire (*Hydrochoeris hydrochaeris*), la piña, el frijol, los nabos, etc.

— Desarrollo de sistemas de manejo pecuario, como por ejemplo rotación rápida de potreros.

5. Las obras de recuperación han tenido repercusiones ecológicas directas positivas y negativas. Entre las positivas se pueden citar:

— El aumento de la superficie aprovechable de los terrenos agrícolas.

— El control de la cuña salina, ubicada en una posición que permite mantener la calidad del agua en niveles similares a los de la condición inicial de aguas bajas, con lo cual se garantiza el uso directo del agua para consumo humano y riego.

Entre las negativas se pueden señalar: la maduración acelerada de los suelos; la alteración de la cobertura vegetal, y el sobrepastoreo y las quemadas.

Las obras de recuperación han tenido importantes repercusiones indirectas para el aprovechamiento del Delta. Entre éstas se destacan el incremento de la investigación, el mejoramiento de las condiciones urbanas y de

## BIBLIOGRAFIA

- AYCA, *Uso futuro sugerido para las tierras de la isla de Guara, distrito Sotillo, Eduardo Monagas*, Corporación Venezolana de Guayana, (versión mecanografiada), 1975.
- COPLANARH, *Inventario nacional de tierras. Región oriental*, Caracas, 1976, (informe de avance).
- CORDIPLAN, *V Plan de la Nación*, Caracas, 1976.
- CORPORACION VENEZOLANA DE GUAYANA:
- *Análisis inicial de proyectos de recuperación de tierras en la región del delta del Orinoco*, TAMS, Ingenieros Consultores, Informe N° 1, Caracas, 1965.
  - *Informe anual*, 1964, 1970, 1971, 1972, 1973, Caracas.
  - *Informe de factibilidad, Proyecto delta del Orinoco, Isla de Guara*, (TAMS, Ingenieros consultores, Informe N° 3A), Caracas, 1968.
  - *Obras del delta del Orinoco. Informe preliminar*, TAMS, Ingenieros Consultores, Informe N° 2, Caracas, 1966.
  - *Obras del delta del Orinoco. Isla Guara. Informe de viabilidad*, (TAMS, Ingenieros consultores, Informe N° 3), Caracas, 1967.
- HOSDOST y L.J. PONS, "Informe preliminar sobre el área protegida del caño Mánamo", Corporación Venezolana de Guayana, 1970, (publicación interna).
- FREILE, A. "El delta del Orinoco", separata de la *Revista GEA* N° 5, Caracas, s.f.
- FUNDACION SERVICIO PARA EL AGRICULTOR (FUSAGRI), *Potencial agropecuario Isla de Guara*, Tucupita, 1976 (comunicación personal).
- PANNIER, F. y RABINOVICH, J. "Aspectos ecológicos del delta del Orinoco: Manglares", en E. BUROZ y J. GUEVARA, *Aprovechamiento de regiones deltaicas, su efecto sobre el ambiente: un caso en el delta del Orinoco*, (informe preliminar), CEPAL, Santiago, 1976.
- PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA, *Estatuto orgánico de desarrollo de Guayana*, Decreto N° 430 del 29 de diciembre de 1960, Caracas, 1960.
- VILA, P. *Geografía de Venezuela*, Ediciones del Ministerio de Educación, 2 tomos, Caracas, 1960.
- YANES, A. *Plan de acción para las islas de Tucupita y Macareo en el Territorio Federal Delta Amacuro*, Corporación Venezolana de Guayana, 1976 (en ejecución).

## Capítulo XI

### MANEJO DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS EN LA BAHIA DE GUANABARA, BRASIL<sup>132</sup>

Víctor Monteiro Barbosa Coelho  
María Regina Monteiro de Barros da Fonseca

#### 1. Descripción general del sistema estudiado

Circundando la bahía de Guanabara, situada en el sureste del Brasil (véase el mapa II-5), se encuentran las ciudades de Río de Janeiro, Niteroi y otras del Estado de Río de Janeiro, que constituyen la Región Metropolitana del Gran Río (con una población estimada de siete millones de habitantes en 1970 y de más de ocho millones en 1976) (véase el cuadro XI-1). La bahía tiene una superficie de 381 km<sup>2</sup>, incluidos los 44 km<sup>2</sup> correspondientes a 42 islas e islotes, y su perímetro alcanza a 131 km. El área tributaria de la bahía es de aproximadamente 4 000 km<sup>2</sup>, y a ella contribuyen cerca de 35 ríos. Una característica común a todos estos ríos es la pronunciada pendiente del curso superior de cada uno de ellos que contrasta con la escasa pendiente de sus cursos inferiores situados junto al litoral.

El clima es suave y más o menos uniforme durante todo el año predominando en toda la región el clima tropical con estación seca. Lluve mucho en las regiones más altas (2 600 mm en las montañas de Petrópolis) y menos en el litoral (1 000 mm). El verano que va de diciembre a abril, es época de intenso calor y fuertes lluvias originadas por la elevada humedad relativa. El período de mayo a octubre se considera época seca, y la precipitación corresponde aproximadamente a 20% de la total anual.

<sup>132</sup> Este capítulo es un resumen del estudio preparado para CEPAL/PNUMA por los autores como parte del proyecto ADEMA *Estudio do caso de poluição das águas da Bahia de Guanabara*, Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente, Río de Janeiro, octubre de 1976.

Cuadro XI-1

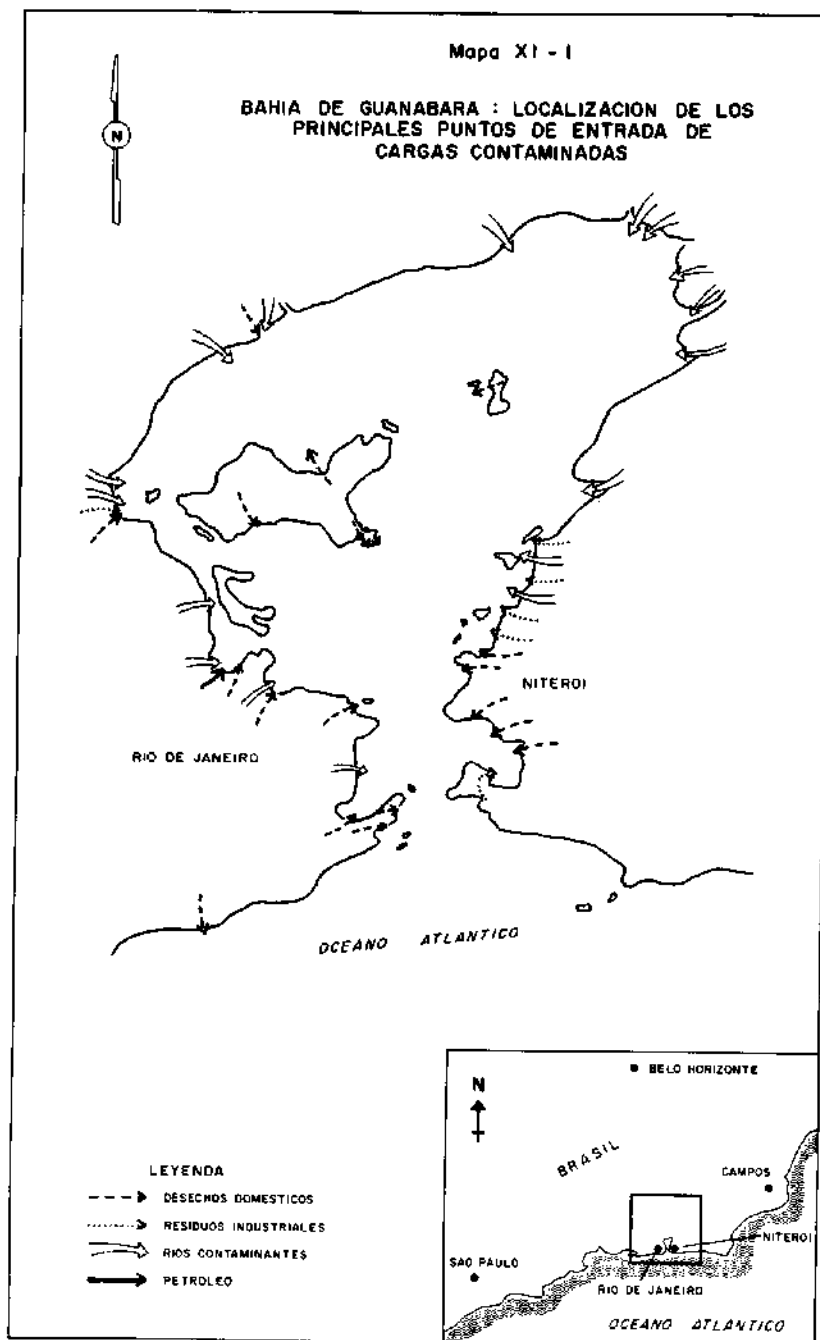
**BAHIA DE GUANABARA: POBLACION DE LOS  
PRINCIPALES MUNICIPIOS**

| <i>Municipios</i>  | <i>Superficie<br/>(km<sup>2</sup>)</i> | <i>P o b l a c i ó n</i> |                  |                  |                  | <i>Densidad<br/>demográfica<br/>en 1970</i> |
|--------------------|----------------------------------------|--------------------------|------------------|------------------|------------------|---------------------------------------------|
|                    |                                        | <i>1940</i>              | <i>1950</i>      | <i>1960</i>      | <i>1970</i>      |                                             |
| Cachoeira Macacu   | 1 055                                  | 14 069                   | 16 272           | 27 064           | 33 793           | 32                                          |
| Duque de Caxias    | 442                                    | 24 711                   | 92 459           | 243 619          | 431 397          | 976                                         |
| Itaboraí           | 526                                    | 24 370                   | 30 228           | 41 739           | 65 912           | 125                                         |
| Magé               | 718                                    | 23 401                   | 36 761           | 59 076           | 113 023          | 157                                         |
| Nilópolis          | 22                                     | 22 341                   | 46 406           | 96 553           | 128 011          | 5 818                                       |
| Niterói            | 130                                    | 142 407                  | 186 309          | 249 000          | 324 246          | 2 494                                       |
| Nova Iguaçu        | 764                                    | 53 985                   | 145 649          | 359 364          | 727 140          | 951                                         |
| Río de Janeiro     | 1 171                                  | 1 764 141                | 2 377 451        | 3 307 163        | 4 315 746        | 3 631                                       |
| São Gonçalo        | 228                                    | 89 528                   | 127 276          | 247 754          | 430 271          | 1 887                                       |
| São João de Meriti | 34                                     | 39 569                   | 76 482           | 191 734          | 302 394          | 8 893                                       |
| Río Bonito         | 462                                    | 22 831                   | 25 157           | 27 694           | 34 434           | 64                                          |
| <i>Total</i>       | <i>5 552</i>                           | <i>2 221 353</i>         | <i>3 160 430</i> | <i>4 850 760</i> | <i>6 906 367</i> | <i>25 028</i>                               |

*Fuente:* Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Las actividades económicas de Río de Janeiro presentan una particularidad en relación con las demás ciudades brasileñas. Predominan las actividades terciarias propias de los grandes centros urbanos que comprenden no sólo la prestación de servicios, (portuarios y de navegación comercial), sino además las actividades de recreación y turismo. No obstante, destaca la importancia del sector industrial (construcción naval, industrias textil, petroquímica, farmacéutica de material eléctrico y mecánico), seguido por el comercio y las actividades primarias.

El número de industrias instaladas solamente en el municipio de Río de Janeiro bordea las 4 000, y a éstas se suman otras 2 000 en los demás municipios. Las estaciones de gasolina alcanzan a más de 1 000. Existen además las grandes refinerías de petróleo en las márgenes de la bahía así como terminales marítimos petroleros en el interior de la misma. Las aguas servidas provenientes de toda esta actividad se vacían a la bahía de Guanabara (véase el mapa XI-1): 100/o de las aguas residuales reciben algún tipo de tratamiento en tanto que 70/o son recogidas y transferidas por un emisario submarino directamente al océano Atlántico. La descarga de los colectores de alcantarillado es de unos 10 m<sup>3</sup>/s de los cuales el 100/o recibe tratamiento secundario. Se estima que la carga contaminadora total de la Región Metropolitana que recibe la bahía es de 371 000 kg DBO/día. Al océano Atlántico se descargan por el emisario unos 60 000 kg DBO/día. En esta estimación no se incluyen los demás elementos contaminadores como el petróleo, los metales pesados y otras sustancias tóxi-



cas. En el cuadro XI-2 se muestran algunos indicadores medios por habitante de la contaminación de origen doméstico. Cabe agregar que la mayor parte de los desperdicios de las ciudades se arroja en basurales situados en las márgenes de la bahía; del municipio de Río de Janeiro solamente provienen más de 3 000 toneladas diarias. A todo lo anterior se suman los problemas derivados de la erosión y de las crecidas de los ríos, ya que esta región se encuentra en la zona tropical, sujeta a fuertes temporales, principalmente en los meses de verano.

Estos antecedentes generales permiten comprender que la alta y progresiva degradación de las aguas de la bahía de Guabanara, cuya fauna se ha ido destruyendo en forma sistemática provocando una alteración completa del equilibrio ecológico natural, ha sido ocasionada por la creciente concentración demográfica e industrial, junto a la evolución desordenada de dicho crecimiento. Dado que estas tendencias van en aumento, la contaminación de las aguas será cada vez mayor.

En los últimos dos decenios la región de Río de Janeiro ha experimentado tasas de crecimiento demográfico superiores a las del Sudeste pero inferiores a las de las regiones metropolitanas de São Paulo y Belo Horizonte.

Cuadro XI-2

BAHIA DE GUANABARA: CARGA CONTAMINADORA  
DE ORIGEN DOMESTICO <sup>a</sup>

| <i>Tipo de<br/>Alcantarillado</i>                                    | <i>Coliformes<br/>totales<br/>(NMP/hab/día)</i> | <i>DBO<br/>(kg/hab/día)</i> | <i>Nitrógeno<br/>total<br/>oxidable<br/>(Kg/hab/día)</i> |
|----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------------------------------|
| Zona con alcantarillas de sistema separador absoluto                 | 4 x 10 <sup>11</sup>                            | 0.075                       | 0.014                                                    |
| Zona con alcantarillas de sistema unitario con uso de pozos sépticos | 2.8 x 10 <sup>11</sup>                          | 0.045                       | 0.011                                                    |
| Zona sin alcantarillas                                               | ...                                             | 0.015                       | ...                                                      |

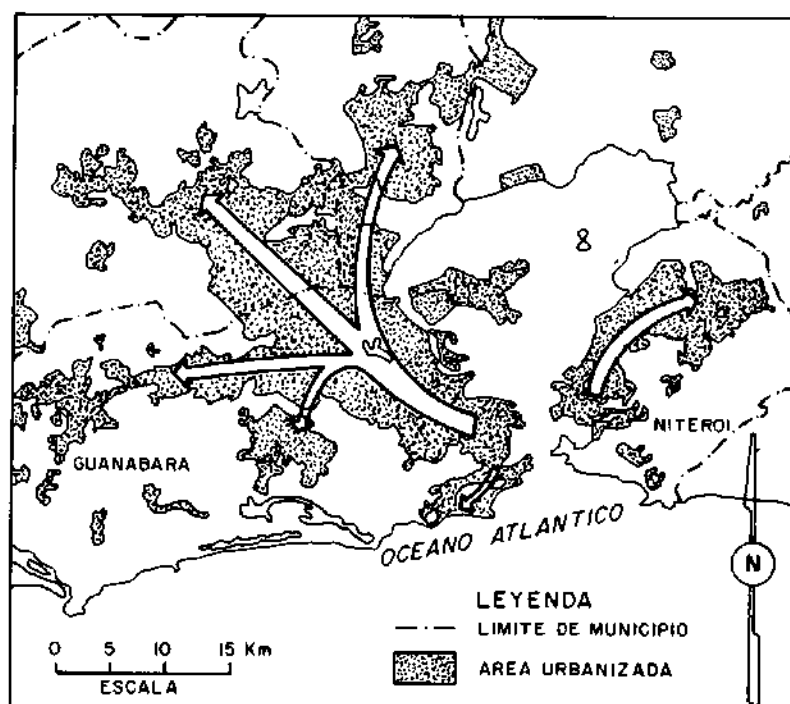
Fuente: Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente (FEEMA).

<sup>a</sup> Para estimar esta carga se determinó la población tributaria de cada cuenca y luego se multiplicó esa cifra por la correspondiente a la carga contaminadora diaria por habitante.

De acuerdo con algunos estudios y teniendo en cuenta la evolución de la urbanización en la región del Gran Río de Janeiro, se puede verificar la existencia de tres zonas favorables al crecimiento urbano: la Baixada de Itaguaí, la Planicie de Itaboraí y la parte norte de la Baixada Fluminense (véase el gráfico XI-1). De éstas, Itaguaí e Itaboraí son las más extensas y físicamente favorables para ocupación urbana. Si se consideran las infraestructuras sanitarias y de transporte así como ciertos factores decisivos de desarrollo, como la carretera que une Río de Janeiro con Santos, el muelle de Minério y el puerto de Sepetiba, y la región industrial de Santa Cruz, se puede prever que la ocupación urbana aumentará hacia la de la Baixada de Itaguaí.

**Gráfico XI - I**

**GRAN RIO DE JANEIRO :  
DIRECCION DE CRECIMIENTO URBANO FUTURO**



En los últimos años el Gobierno del Brasil ha aplicado una política de fomento industrial, estableciendo nuevas zonas industriales y proporcionando financiamiento y diversos tipos de incentivos fiscales.

Se comprende, entonces, la prioridad que han dado las autoridades competentes a un conjunto de medidas encaminadas a proteger la calidad de las aguas que bañan la zona turística más importante del país.

## *2. El objeto y la metodología del estudio*

El estudio postula que el problema ambiental más grave de la Región Metropolitana del Gran Río de Janeiro es la contaminación de las aguas de la bahía de Guanabara y sus afluentes, y que los niveles de contaminación que se han verificado justifican la atención de las autoridades en razón de los perjuicios económicos y ecológicos que ellos entrañan.

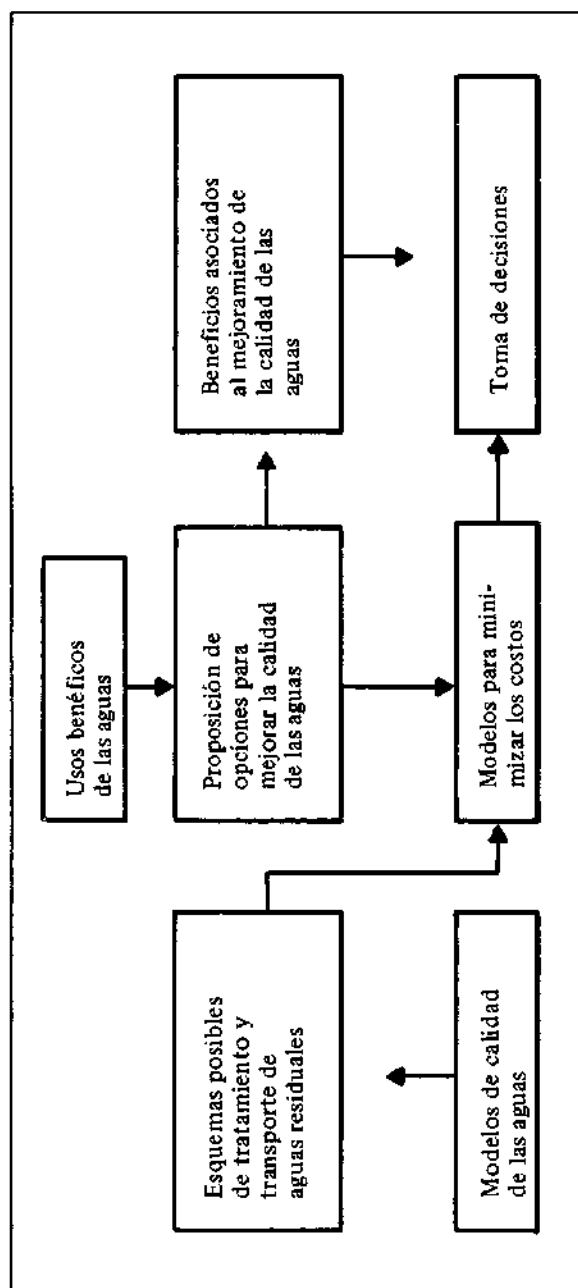
La investigación se encuadra en el marco esquemático presentado en el gráfico XI-2. El enfoque metodológico escogido es cuantitativo y analítico, y a través de distintos modelos del sistema pretende analizar su comportamiento según diversas hipótesis y posibilidades de tratamiento y de remoción de desechos. (Véase el mapa XI-2.) Las inversiones públicas necesarias para tratar las aguas y eliminar los desechos serían cuantiosas; de allí que sea necesario elaborar un programa que permita evaluar formalmente diversas opciones y facilitar la decisión sobre la mejor combinación de plantas de tratamiento, interceptores y emisarios marítimos a fin de lograr, a un mínimo costo, las calidades de agua deseadas en cada punto o sector del sistema.

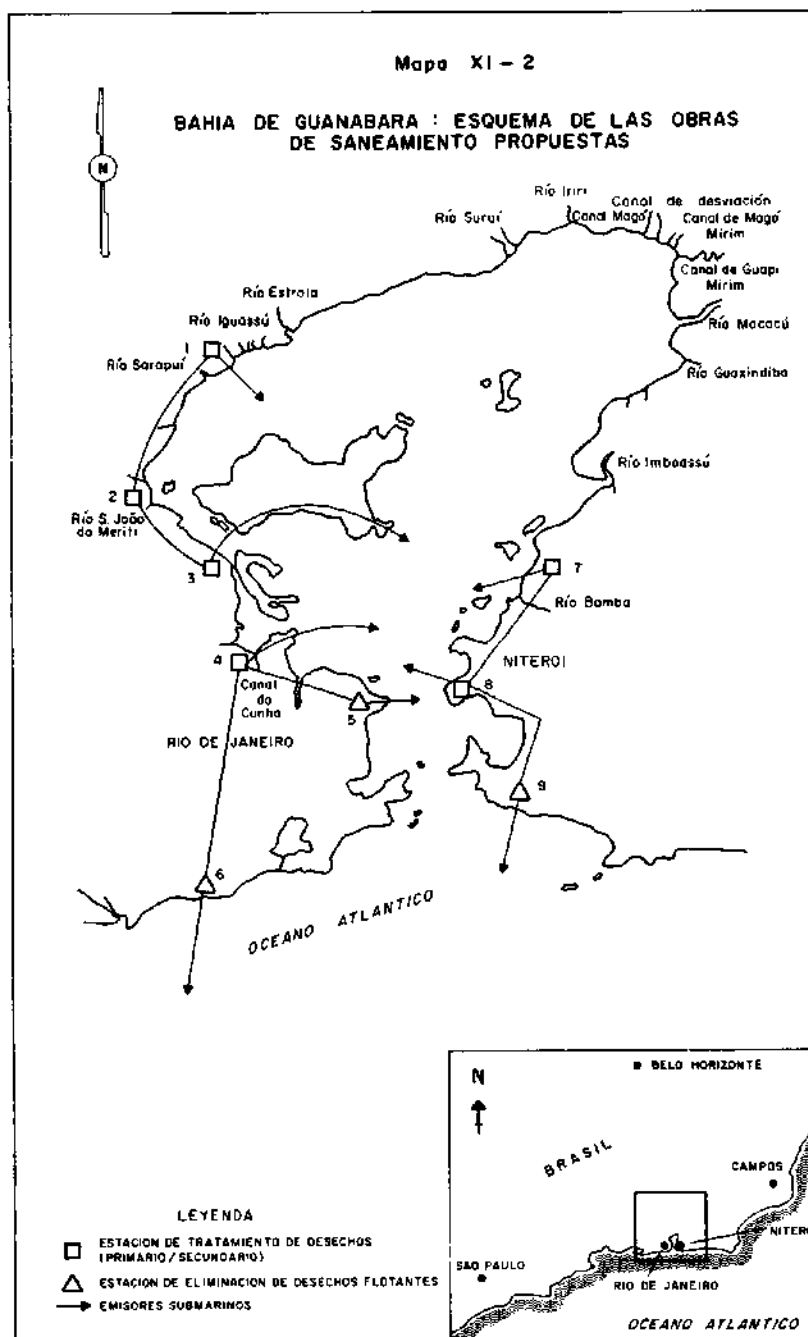
Para llevar a cabo el análisis de simulación se dividió la bahía en 56 sectores (véase el mapa XI-3) que constituyen las unidades básicas utilizadas en los modelos de simulación física desarrollados. Estos modelos se apoyan en un sistema hidrodinámico básico, que permite la simulación de los flujos de agua en la bahía. Sobre esta base se elaboraron modelos de calidad de agua de tipo estacionario, bidimensionales, que se resolvieron mediante aproximaciones sucesivas por diferencias finitas. Las fórmulas utilizadas corresponden básicamente a ecuaciones de balances de masas por sectores considerando el transporte por dispersión, advección y remoción directa. Los modelos de simulación de oxígeno disuelto, de demanda bioquímica de oxígeno, de salinización y de bacterias coliformes constituyen un conjunto de instrumentos que permiten obtener la reacción del sistema ante distintas configuraciones de cargas contaminadoras.

Este planteamiento metodológico se complementa con una evaluación, por medio de un modelo de optimación del conjunto de obras optativas (interceptores, estaciones elevadoras, de tratamiento y emisarios submarinos) que permiten alcanzar con un costo mínimo, las normas de calidad del agua establecidas por las autoridades decisoras o por la administración de la bahía.

Gráfico XI - 2

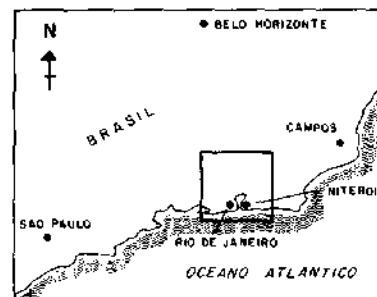
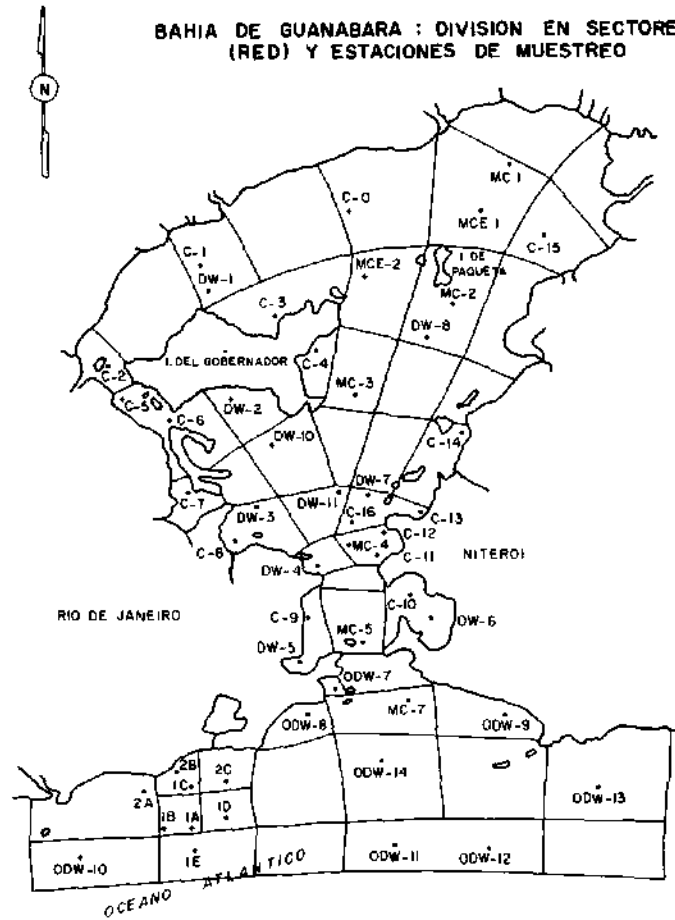
BAHIA DE GUANABARA: MARCO ESQUEMATICO DE LA INVESTIGACION SOBRE  
LA CONTAMINACION DE LAS AGUAS





Mapa X1-3

BAHIA DE GUANABARA : DIVISION EN SECTORES (RED) Y ESTACIONES DE MUESTREO



Los principales usos de la bahía son:

1. recreación: deportes acuáticos;
2. recreación: navegación y pesca;
3. navegación comercial;
4. pesca comercial;
5. extracción de agua para las industrias;
6. placer estético; y
7. dilución de aguas residuales.

Dados estos usos, la calidad del agua en la bahía está sujeta a un conjunto limitado de opciones en distintas zonas de ésta (véase el mapa XI-4).

*Opción A:* Un nivel de calidad de agua suficiente para asegurar todos los usos en todas las zonas.

*Opción B:* Recreación (deportes acuáticos) en la zona 1, uso estético en la zona 3, sin garantizar por consiguiente la pesca comercial en la zona 2.

*Opción C:* Pesca comercial en la zona 2, uso estético en las zonas 1 y 3.

*Opción D:* Uso estético en las zonas 1 y 3 y navegación en las zonas 2 y 4.

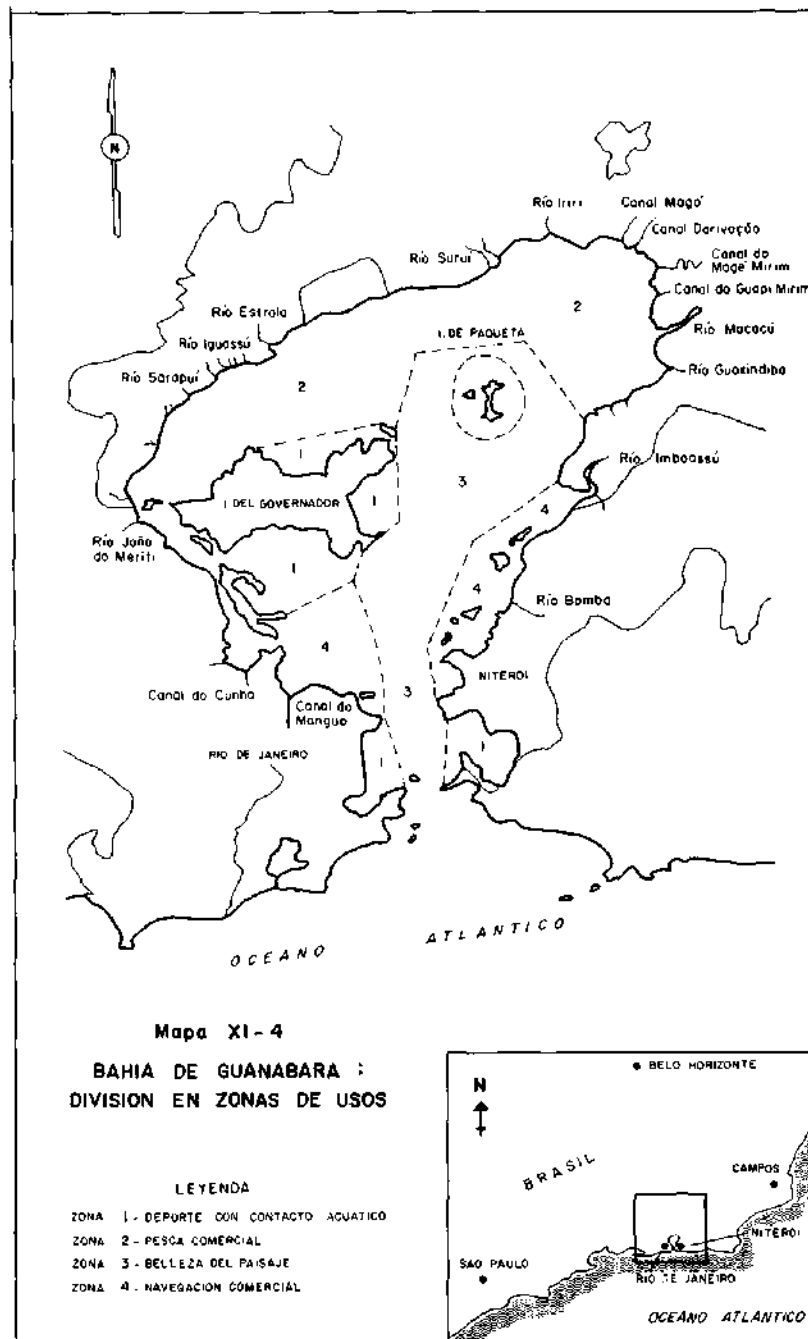
*Opción E:* Sólo navegación en toda la bahía.

Las normas de calidad del agua de la bahía de Guanabara que permiten hacer operativos los modelos figuran en el cuadro XI-3.

Los modelos de salinidad, de bacterias coliformes y de oxígeno disuelto han sido evaluados en situaciones reales a través de mediciones de campo practicadas en 36 estaciones de muestreo. Se reunieron y midieron en el laboratorio los parámetros siguientes: temperatura, transparencia, pH, salinidad, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, bacterias coliformes totales y fecales, clorofila "a", y nitrógeno y fósforo (total e inorgánico). Se realizaron dichas mediciones dos veces por año en programas intensivos, durante la estación seca y lluviosa, en muestras reunidas durante dos días en siete puntos, a lo largo del día, cada tres horas y en tres profundidades distintas, con marea alta y baja, tanto en la mañana como en la tarde.

En el mapa XI-5 y en los gráficos XI-3 y XI-4 se representan los resultados correspondientes a velocidad de las corrientes, salinidad y bacterias coliformes, respectivamente, obtenidos de los modelos en cuestión. Se está diseñando el modelo de costo mínimo del tratamiento y transporte de las aguas residuales o de remoción de sólidos flotantes al cual ya se hizo alusión, y se ha procurado especialmente deducir las curvas de costos de cada una de las opciones.

Los datos de velocidad de las corrientes (intensidad y dirección) son importantes para conocer la distribución del agua dulce y los coeficientes de dispersión y dilución de las materias contaminadoras dentro de la bahía. Por su parte, la cantidad de agua dulce que afluye a la bahía es un dato fundamental para construir modelos de calidad de agua en bahías y estuarios, ya que el transporte por advección de materias contaminadoras se hace a través de esas corrientes.



Cuadro XI-3

**BAHIA DE GUANABARA: INDICADORES CONSTANTES DE LA CALIDAD  
DEL AGUA EN FUNCION DE SUS DIVERSOS USOS**

|                                              | <i>Recreación:<br/>deportes<br/>acuáticos</i> | <i>Recreación:<br/>navegación<br/>y pesca</i> | <i>Navegación<br/>comercial</i> | <i>Pesca<br/>comercial</i> | <i>Agua<br/>para<br/>industrias</i> | <i>Placer<br/>estético</i> |
|----------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------|----------------------------|-------------------------------------|----------------------------|
| Bacterias coliformes<br>fecales (NMP/100 ml) | 1 000                                         | 4 000                                         | —                               | —                          | —                                   | —                          |
| Bacterias coliformes<br>totales (NMP/100 ml) | 5 000                                         | 20 000                                        |                                 | —                          |                                     |                            |
| Oxígeno disuelto (mg/l)                      | 4                                             | 4                                             | —                               | 4                          | 2                                   | 2                          |
| Transparencia Disco<br>Secchi (m)            | 1.20                                          | 1.00                                          | —                               | 0.70                       | 1.20                                | 0.50                       |
| Sólidos flotantes                            | virtualmente                                  |                                               |                                 | ausentes                   |                                     |                            |
| Sustancias tóxicas                           | ausentes                                      |                                               |                                 | ausentes                   |                                     |                            |
| Petróleo (mg/l)                              | virtualmente                                  |                                               |                                 | ausentes                   |                                     |                            |
| Malos olores                                 | virtualmente                                  |                                               |                                 | ausentes                   |                                     |                            |

*Fuente:* Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente (FEEMA).

Para el modelo de salinidad se utilizaron los promedios anuales correspondientes a 1968, año para el cual se disponía de mayor número de datos en todas las estaciones. Dicho modelo permitió valores muy cercanos a los observados en el terreno.

El modelo de bacterias coliformes no dio tan buenos resultados, obteniéndose concentraciones de coliformes bastante más elevadas que las observadas en el terreno. En el gráfico XI-4 se comparan los resultados del modelo con los del perfil longitudinal correspondiente al lado oeste de la bahía.

Los modelos de calidad del agua permiten establecer una relación de causa-efecto entre las cargas contaminadoras lanzadas a la bahía y la calidad del agua; son importantes para determinar la calidad del agua que se obtendrá para los diversos esquemas de transporte o tratamiento de las aguas residuales, considerándose las cargas contaminadoras actuales y previstas hacia el futuro.

BAHIA DE GUANABARA :  
VELOCIDAD DE LAS CORRIENTES - MAREA BAJA

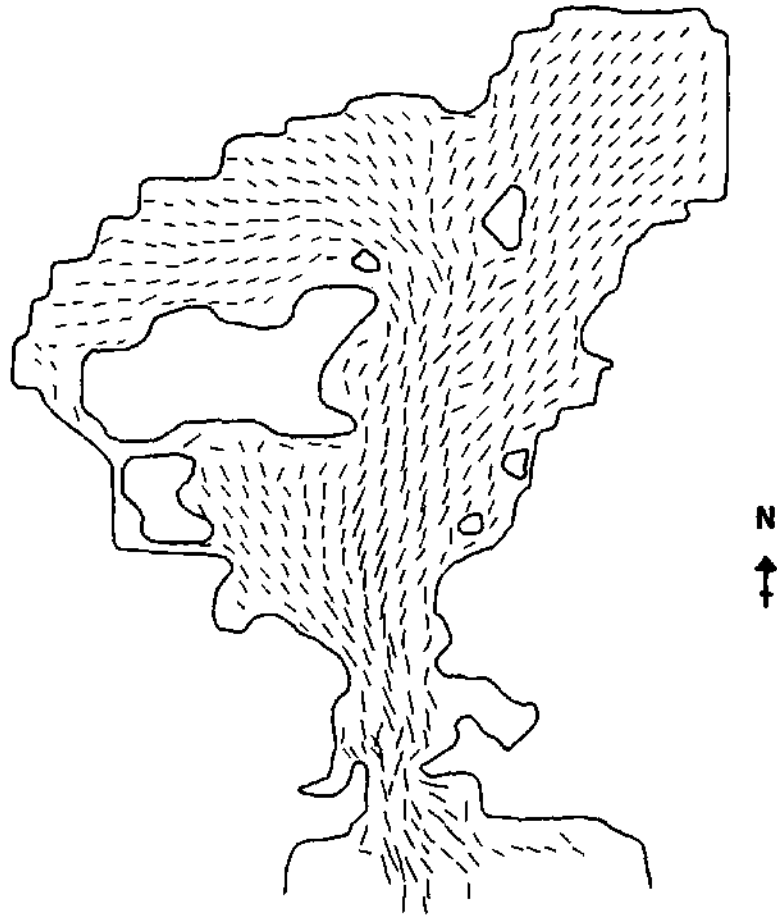


Grafico XI - 3

BAHIA DE GUANABARA : COMPARACION ENTRE LOS RESULTADOS DE  
SALINIDAD OBTENIDOS EN EL MODELO Y LOS OBSERVADOS  
DURANTE LA ESTACION LLUVIOSA, 1968

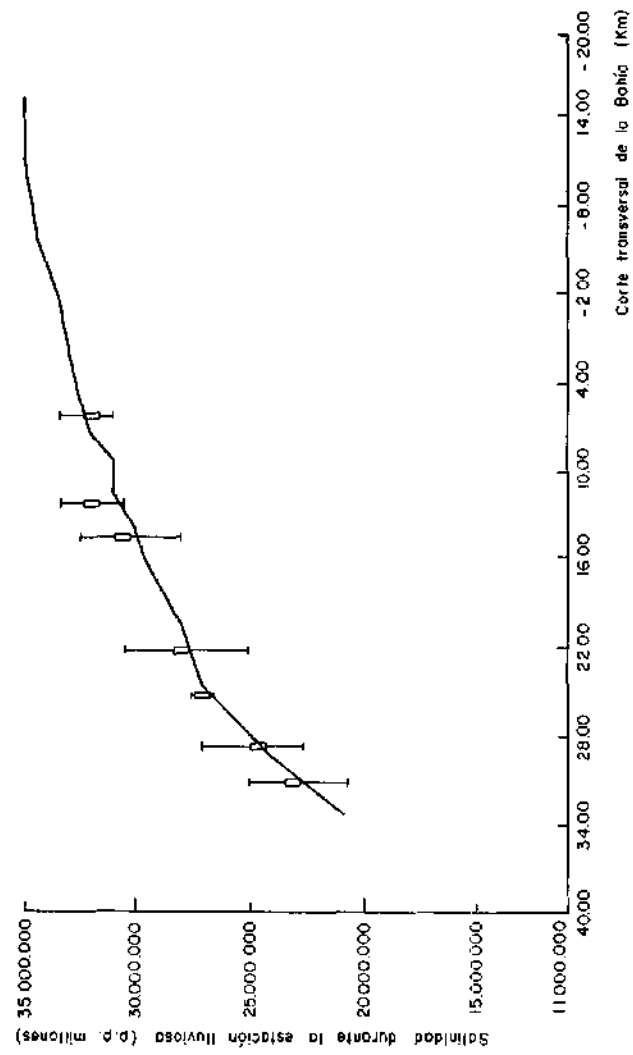
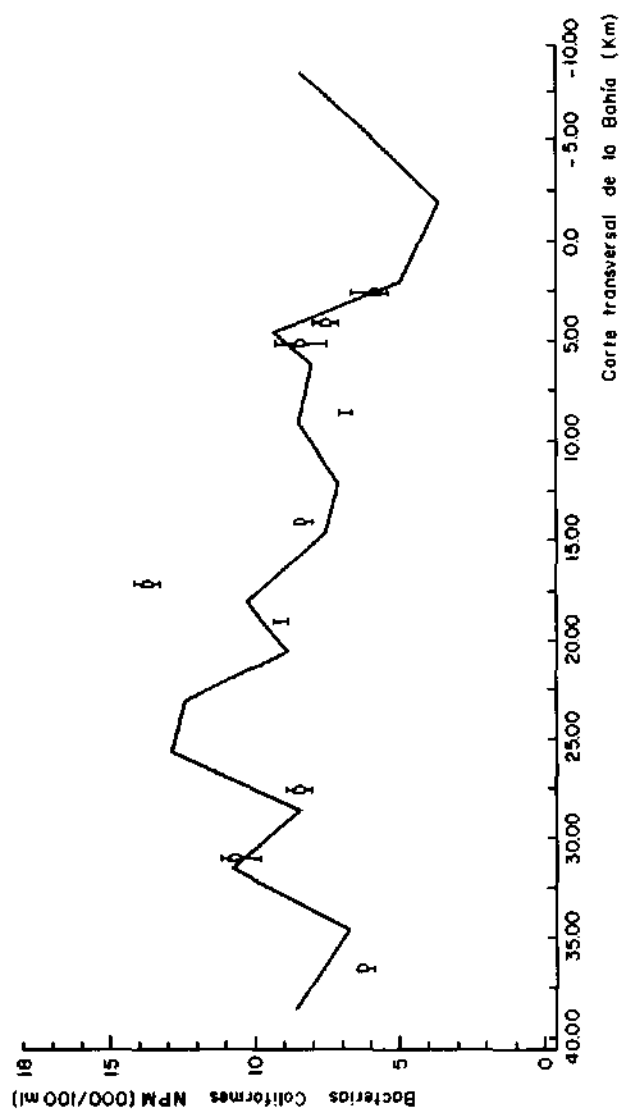


Gráfico XI-4

BAHIA DE GUANABARA : COMPARACION ENTRE LOS RESULTADOS DE  
BACTERIAS COLIFORMES OBTENIDOS EN EL MODELO Y LOS  
OBSERVADOS DURANTE LA ESTACION LLUVIOSA, 1975



Los modelos del tipo que se están aplicando a la bahía de Guanabara, cuyo objetivo principal es evaluar la calidad del agua, sirven para planificar en gran escala el destino final de los desagües a la bahía pero no son aplicables cuando se desea un grado mayor de detalle, como por ejemplo, conocer la distribución espacial de un determinado constituyente en las vecindades de un dispersor.

### *3. Beneficios asociados al mejoramiento de la calidad de las aguas, costos de la prevención de la contaminación y fuentes de financiamiento*

Como se señaló anteriormente, la investigación, junto con desarrollar modelos matemáticos de calidad de las aguas con los cuales se obtendrían informaciones sobre la calidad final del agua y por lo tanto, sobre su compatibilidad con las normas adecuadas a los usos propuestos, también consultó el diseño de modelos económicos para obtener datos sobre el costo mínimo de construcción de las obras sanitarias previstas en los diversos esquemas de acuerdo con la calidad de agua deseada. Dado el alto costo de construcción de esas obras, se propusieron diversas calidades optativas de agua con el fin de que el gobierno pudiera elegir entre ellas teniendo principalmente en cuenta las restricciones presupuestarias.

Se estimaron también los beneficios que se derivarían de los diversos usos propuestos para las aguas con el objeto de que el gobierno tuviera una idea del monto que la población estaría dispuesta a pagar para usufructuar de un agua de mejor calidad; gran parte de los beneficios que se obtendrían tenderían a eliminar los perjuicios que sufre la población por los daños provocados por la contaminación de las aguas. Al estimar dichos beneficios surgen una serie de problemas; algunos relativamente sencillos, como la estimación de la economía en los costos de tratamiento del agua de refrigeración, otros menos complejos pero de evaluación subjetiva, como la cuantificación de los beneficios de la recreación, y por fin otros conceptualmente complejos e intangibles, como el valor de un mejoramiento estético de las aguas de la bahía. Sólo para fines ilustrativos se ofrece en el cuadro XI - 4 una estimación de estos beneficios para la que se ha considerado el margen de inseguridad asociado a la cuantificación de algunos de ellos en razón de la debilidad de los criterios utilizados. Ante los inconvenientes expuestos se optó por construir el modelo de costo mínimo del tratamiento y transporte de las aguas residuales necesario para obtener una determinada calidad de agua en la bahía, al cual ya se hizo referencia.

Los costos de un sistema racional de prevención de la contaminación de las aguas de la Bahía de Guanabara son de diversos tipos y no siempre corren por cuenta del organismo encargado del control. Estos costos corresponden a:

- los estudios necesarios para aprovechar de manera racional los recursos hídricos;

**BAHIA DE GUANABARA: ESTIMACION DE LOS BENEFICIOS  
DERIVADOS DE LOS USOS PROPUESTOS**  
(Miles de dólares al año)

| <i>Usos</i>                               | <i>Beneficios</i> |
|-------------------------------------------|-------------------|
| 1. Recreación: deportes acuáticos         | 5 500             |
| 2. Recreación: navegación y pesca         | 1 830             |
| 3. Navegación comercial                   | 1 830             |
| 4. Pesca comercial                        | 740               |
| 5. Extracción de agua para las industrias | 280               |
| 6. Placer estético                        | 3 760             |
| <i>Total</i>                              | <i>13 940</i>     |

*Fuente:* FEEMA.

- proyecto y construcción de las obras sanitarias municipales y estaduais;
- operación, conservación y reparación de los sistemas de alcantarillado;
- proyecto y construcción de estaciones de tratamiento de desechos industriales;
- operación, conservación y reparación de dichas estaciones;
- prevención y control de la contaminación ocasionada por el petróleo, y
- operación del organismo de control (incluidos asesoramiento, fiscalización, etc.).

No es fácil estimar estos costos si se tiene en cuenta la diversidad de los organismos encargados de ejecutar los programas, que incluyen, en el caso de la Bahía de Guanabara, no sólo a la Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente (FEEMA), sino también a la Companhia Estadual de Aguas e Esgotos (CEDAE), la Superintendencia Estadual de Ríos y Lagos (SERLA), las industrias, terminales, navíos, etc. Además, cabe destacar no sólo la magnitud de algunas de estas obras, sino también el carácter pionero de muchas de ellas en el Brasil.

Sin embargo, pese a las dificultades expuestas pueden estimarse algunos datos. Por ejemplo, los estudios que se realizan para la construcción de modelos, en relación con el Proyecto Bahía de Guanabara, que es un proyecto conjunto del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y el gobierno del Estado de Río de Janeiro, tendrán un costo total aproximado de 2 millones de dólares en tres años. Respecto de las obras sanitarias municipales y estaduais, no existen en el Brasil datos sobre los costos de instalaciones con grandes desagües "vazoes". Simultáneamente

con los presupuestos de esas obras que confecciona la CEDAE, la FEEMA procura elaborar curvas de costos para construir estaciones de tratamiento primario y secundario, interceptores, estaciones elevadoras y emisarios submarinos. A fin de tener una idea de la magnitud de estos costos se hizo una estimación bastante preliminar del costo de dos soluciones optativas para el destino final de los efluentes de la Baixada Fluminense y de la zona norte de la ciudad de Río de Janeiro. Una de dichas opciones consistía en transportar y desaguar dichos afluentes al océano mientras que la otra consideraba su tratamiento secundario y posterior desagüe en el interior de la bahía. En ninguna de ellas se tuvieron en cuenta los costos comunes de las redes de alcantarillado, que además de las obras, incluyen los costos de operación y conservación hasta el año 2 029, y que se ajustan al siguiente detalle:

- Transporte y desagüe al océano US\$ 140 millones
- Tratamiento secundario y desagüe al canal principal de la bahía US\$ 260 millones

Para los diversos tipos de industrias, se calcularon costos porcentuales de control de la contaminación en función del valor de su producción. Dichos porcentajes se aplicaron a los diversos tipos de industrias de la cuenca de la bahía de Guanabara, obteniéndose un valor global de US\$ 165 millones.

Finalmente, los costos de operación del organismo de control, en el caso de FEEMA, solamente para la bahía de Guanabara pueden estimarse para el año 1976 en aproximadamente 750 000 dólares.

Los recursos necesarios para todas las actividades mencionadas provienen de cada uno de los organismos que las ejecutan. Para los estudios que realiza la FEEMA en virtud del Proyecto Bahía de Guanabara, los recursos proceden conjuntamente del Gobierno del Estado de Río de Janeiro y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, el cual proporciona cerca de la sexta parte del financiamiento. La ejecución de las obras sanitarias municipales y estatales corresponde a CEDAE, cuya fuente básica de recursos son las tarifas que cobra por los servicios de agua potable y alcantarillado, pudiendo también obtener recursos del Plan Nacional de Saneamiento (PLANASA). Los costos de prevención de la contaminación por parte de las industrias corren por cuenta de las mismas, para lo cual éstas cuentan con planes de financiamiento a través de bancos oficiales del Estado que les permiten construir instalaciones destinadas a combatirlas.

Los recursos con que cuenta FEEMA para prevenir la contaminación de las aguas de la bahía de Guanabara provienen en gran parte del gobierno estadual, así como también, de los servicios que presta a otras instituciones gubernamentales y privadas.

#### *4. Administración integrada del sistema*

En lo institucional, la administración de las actividades relativas a la prevención de la contaminación en la bahía de Guanabara se efectúa en tres planos: federal, estadual y municipal.

En el plano federal participan tres instituciones: la Secretaría Especial del Medio Ambiente (SEMA), PORTOBRAS y la Marina de Guerra del Brasil. A SEMA le corresponde fijar los criterios generales relativos a la prevención de la contaminación del medio ambiente y en particular el proyecto de la bahía de Guanabara. A PORTOBRAS le compete determinar los parámetros técnicos específicos relativos a la preservación de las condiciones de navegación, y a la Marina de Guerra le cabe vigilar el cumplimiento de las disposiciones específicas.

En el plano estadual existen las siguientes instituciones: la Comisión Estadual de Control Ambiental (CECA), la Fundación Estadual de Ingeniería del Medio Ambiente (FEEMA), la Superintendencia Estadual de Ríos y Lagos (SERLA) y la Compañía Estadual de Aguas y Alcantarillados (CEDAE).

CECA es el organismo normativo y fiscalizador del control ambiental en todo el Estado. Le compete reglamentar las pautas, criterios y padrones de calidad, considerando los principios generales fijados en el plano federal.

FEEMA, como organismo técnico, se ocupa de la fiscalización y prevención del medio ambiente, por delegación de la CECA. Como órgano responsable del Proyecto Bahía de Guanabara, FEEMA desarrolla trabajos de campo y de investigación aplicada, como los que se incluyen en este resumen.

SERLA administra las medidas relacionadas con los ríos y lagos del Estado, y su participación con respecto a la bahía de Guanabara se lleva a cabo cuando estas medidas afectan los cursos de agua que afluyen a la bahía contribuyendo cualitativa y cuantitativamente a definir el estado de sus aguas. CEDAE es el organismo encargado de la administración de los acueductos y del alcantarillado, y las consecuencias de su acción sobre la bahía de Guanabara son de gran relevancia.

El tercer plano, el de las municipalidades, dice relación con las disposiciones en torno a la utilización del suelo el cual está indirectamente relacionado con las otras funciones mencionadas.

Todas estas entidades coordinan sus acciones tanto en el plano estadual como en el federal a través de directrices y metas que procuran lograr la coherencia y eficacia del conjunto, y que están contenidas en el II Plan Nacional de Desarrollo, elaborado por el Gobierno del Brasil y en el I Plan de Desarrollo del Estado de Río de Janeiro, concebido por el gobierno de ese Estado.

### *5. Conclusiones*

El objetivo global del estudio sobre prevención de la contaminación en la bahía de Guanabara consiste en proporcionar al gobierno información adecuada para que éste pueda tomar decisiones respecto de un programa de obras destinado a mejorar la calidad de las aguas. Para lograr dicho objetivo es importante elaborar modelos de calidad del agua. Una vez

perfeccionados y evaluados dichos modelos, podrán realizarse previsiones acerca de la calidad del agua de la bahía en situaciones futuras, teniendo en cuenta no sólo el crecimiento de la población y la industria, sino también los distintos lugares de desagüe y el grado de tratamiento de los residuos. Tales modelos tendrán importancia fundamental, por cuanto permitirán saber si la calidad del agua obtenida según las diversas hipótesis de desagüe de las aguas servidas en la bahía será compatible con los patrones adecuados a los usos propuestos, y ésto, a su vez además, hará posible apreciar la capacidad de la bahía para absorber los desechos de la población del área.

En la actual etapa de desarrollo de los modelos de calidad del agua se puede llegar a algunas conclusiones preliminares, aunque cabe señalar que algunos temas específicos todavía deben ser revisados, especialmente diversas experiencias en el terreno, como la disminución de las bacterias en el período nocturno, los aportes de la fotosíntesis y de la respiración, los estudios sobre sedimentación y otros.

El modelo de bacterias coliformes, que es el más importante, por cuanto dichas bacterias sirven de parámetro indicador de la calidad del agua para los deportes acuáticos, principal uso del agua de la bahía, mostró en principio que existe la posibilidad de desaguar desechos tratados en la misma bahía. De este modo y pese a que los modelos de OD/DBO no están aún completamente perfeccionados, ni se han realizado todavía las proyecciones sobre las cargas orgánicas futuras, ya puede afirmarse que hubo un significativo cambio de dirección en cuanto al destino de las aguas servidas de la cuenca de la bahía de Guanabara. Actualmente, ya no existe consenso sobre la necesidad de transportar todas las cargas al océano, y se encara con bastante optimismo la posibilidad de que la bahía pueda recibir los desechos debidamente tratados. Sin embargo, esta posibilidad puede producir problemas de eutroficación del agua en las zonas de la bahía que tienen escasa circulación de agua, especialmente si se desaguan desechos mediante tratamiento secundario. En ese caso, los estudios sobre calidad del agua deben complementarse mediante el desarrollo de modelos de fitoplancton.

Por su parte, los modelos económicos incorporarán datos sobre costos y beneficios de las diversas posibilidades del destino final de los residuos. Considerando que los beneficios derivados de un mejoramiento de la calidad del agua son difíciles de cuantificar —y algunos de ellos casi invaluables— se están desarrollando modelos de minimización de los costos de tratamiento y transporte de las aguas servidas, a fin de conocer los costos mínimos necesarios para alcanzar la calidad de agua adecuada a las diversas situaciones de calidad propuestas. (Véase nuevamente el cuadro XI-4, en que figura una estimación de los beneficios correspondientes a los usos propuestos.)

Esta será la información principal para las decisiones que deberá tomar el gobierno, y deberá ser complementada con los aspectos políticos y sociales del problema.

Debe destacarse además, la importancia que tienen las restricciones presupuestarias cuando se adoptan estas decisiones. Las obras que deberían efectuarse para mejorar la calidad de las aguas de la bahía suponen inversiones elevadísimas, del orden de algunos miles de millones de cruzeiros. Por ello, es posible que se adopte un plan de obras para alcanzar la calidad deseada del agua, que no sea el de menor costo total, si dicho plan tiene la ventaja de poder construirse por etapas. Este es el caso de las plantas de tratamiento que pueden ser graduadas en cuanto a capacidad y a grado de tratamiento, por oposición al proyecto que implica tan sólo el transporte y el desagüe en el océano, el cual debe terminarse completamente antes de que se produzca un mejoramiento de la calidad del agua. Por cierto que una solución final de desagüe en el océano puede complementarse con soluciones provisionales de tratamiento y desagüe en la bahía, donde podrían proyectarse los troncales colectores para recibir el volumen final vaciado.

Es importante destacar la valiosa contribución del programa de prevención de la contaminación por el petróleo y también la de un programa de limpieza de las aguas de la bahía a través de la eliminación de los sólidos flotantes, que mejorarán considerablemente las condiciones estéticas de ésta.

Finalmente, se recomienda que los problemas más complejos implícitos en la prevención de la contaminación y en la administración de los recursos hídricos se solucionen mediante la aplicación de modelos matemáticos, método que se considera más racional y económico que la predeterminación de medidas generales como son el tratamiento secundario de todos los desechos o el transporte de todas las cargas contaminadoras hacia el océano.

## BIBLIOGRAFIA

- COELHO, Víctor M.B., *Aplicação de modelos matemáticos de qualidade de água e económicos para a Baía de Guanabara-Brasil*, comunicación presentada al Simposio sobre Ambiente, Salud y Desarrollo en las Américas, México D.F., 29 de julio al 2 de agosto de 1974, Río de Janeiro, IES, 1974 (GB. IES. P.A. Nº 82).
- COELHO, Víctor M.B. y FONSECA, Ma. Regina M.B., "Modelos bidimensionais de qualidade de água e económicos para a Baía de Guanabara Río de Janeiro", presentado al VIII Congreso Brasileño de Ingeniería Sanitaria, Río de Janeiro, 14 al 19 de diciembre de 1975, *Participación de FEEMA, Fundação Estadual de Engenharia del Medio Ambiente*, Río de Janeiro, 1975.
- COMPANHIA ESTADUAL DE AGUAS E ESGOTOS (CEDAE), *Plano de esgotamento sanitário para Niterói*, Río de Janeiro, 1975.
- COMPANHIA ESTADUAL DE AGUAS E ESGOTOS (CEDAE) y ENGINEERING-SCIENCE, Inc., *Plano diretor para o sistema de abastecimento de água do Estado da Guanabara*, elaborado para CEDAE por Engineering-Science, Inc., Arcadia, Engineering-Science, Inc., 1969.
- CONSORCIO NACIONAL DE INGENIEROS CONSULTORES (CNEC) y GB, DEPARTAMENTO DE RIOS E CANAIS, *Projeto executivo do sistema de macrodrenagem das bacias dos rios Maracana, Trapicheiros, Joana, Rainha, Macacos e Cabeças: plano diretor, anexo E, "Modelo de simulação hidrológica"*, Río de Janeiro, 1973.
- DANISH HYDRAULIC INSTITUTE, Copenhagen, *Baía de Guanabara: System 21 Demonstration*, Copenhagen, 1975.
- DIRECCION DE HIDROGRAFIA Y NAVEGACION DEL BRASIL, *Cartas de corrientes de maré: Baía de Guanabara*, 1ª ed., Río de Janeiro, 1974 (DG 10-VI-I).
- EMPRESA DE SANEAMIENTO DE GUANABARA (ESAG), Departamento de Operación y Conservación, División de Operaciones y Tratamiento, *Relatório semestral*, diciembre de 1972 a mayo de 1973, Río de Janeiro, 1973; *Relatório semestral*, junio de 1973 a noviembre de 1973, Río de Janeiro, 1973; *Relatório semestral*, diciembre de 1974 a mayo de 1974, Río de Janeiro, 1974; *Relatório semestral*, julio de 1974 a noviembre de 1974, Río de Janeiro, 1974; *Relatório final*, diciembre de 1974 a julio de 1975, Río de Janeiro, 1975.
- EMPRESA DE SANEAMIENTO DE GUANABARA (ESAG), *Plano estadual de esgotamento sanitário da Guanabara*, Río de Janeiro, 1973.
- GRUPO DE ESTUDIOS PARA LA INTEGRACION DE LA POLITICA DE TRANSPORTE (GLIPOT) e HIDROSERVICE, Ingeniería de Proyectos Ltda., *Prestação de serviços de consultoria para a elaboração de plano diretor para o aproveitamento da area do contorno do fundo da Baía de Guanabara*, Río de Janeiro, 1972 (GEIPOT, Edital Nº 1/72 de 03.03.72), (HIDROSERVICE, *Relatório final da primeira etapa*, HE155, RP3, 1172 y *Relatório final*, HE155, R1, 1073).
- GUANABARA, Departamento de Esgotos Sanitarios (DES) y ENGINEERING-SCIENCE DO BRASIL, S.A., *Engineering Report on Preliminary Design: Marine Sewage Disposal System for Río de Janeiro*, Río de Janeiro, 1969.
- GUANABARA, Divisão de Tratamento, *Relatório do 1º semestre*, Río de Janeiro, 1972.
- GUANABARA, Departamento de Esgotos Sanitarios (DES) y ENGINEERING-SCIENCE DO BRASIL, S.A. *A Master Plan of Waste Disposal for Rio de Janeiro, State of Guanabara, Brazil*, Río de Janeiro, 1964.

- IGNACIO, Joaquim, *Exposição sobre o plano geral de esgotos sanitários e programa de obras*, Rio de Janeiro, Departamento de Saneamiento de SURSAN, 1972.
- LEMOs, Haroldo Mattos de, *Sistema de controle ambiental no estado do Rio de Janeiro*, trabajo presentado al VIII Congreso Brasileño de Ingeniería Sanitaria, Río de Janeiro, 14 al 19 de diciembre 1975, Río de Janeiro, FEEMA, 1975.
- MONTREAL ENGENHARIA S.A. y S.A. CORTUME CARIOCA, *Tratamento de despejos industriais gradeamento e eliminação de sulfetos*, Río de Janeiro, 1974.
- OFICINA TECNICA ENALDO CRAVO PEIXOTO, Río de Janeiro, *Estudo preliminar dos sistemas de abastecimento d'água de esgotos sanitários dos municipios de Niteroi e São Gonçalo Estado de Rio de Janeiro, Brasil (A Preliminary Study of the Water Supply and Sewerage Systems of the Counties of Niteroi and São Gonçalo, State of Rio de Janeiro, Brazil)*; Río de Janeiro, 1967 (publicación bilingüe).

## Capítulo XII

### LA CONTAMINACION DEL RIO BOGOTA, COLOMBIA: ALTERNATIVAS PARA SU MANEJO<sup>133</sup>

Jaime Saldarriaga Sanín  
Germán García Durán

#### 1. Descripción general del sistema estudiado

La hoya del río Bogotá está situada en la parte central de Colombia y es tributario del río Magdalena. En ella se encuentra la ciudad de Bogotá con una población de 3 y medio millones de habitantes que crece a una tasa de 60/o anual. La ciudad está situada a una altura de 2 600 m y el río tiene una caída formidable, de más de 2 300 m en los últimos 115 km antes de desembocar en el río Magdalena.

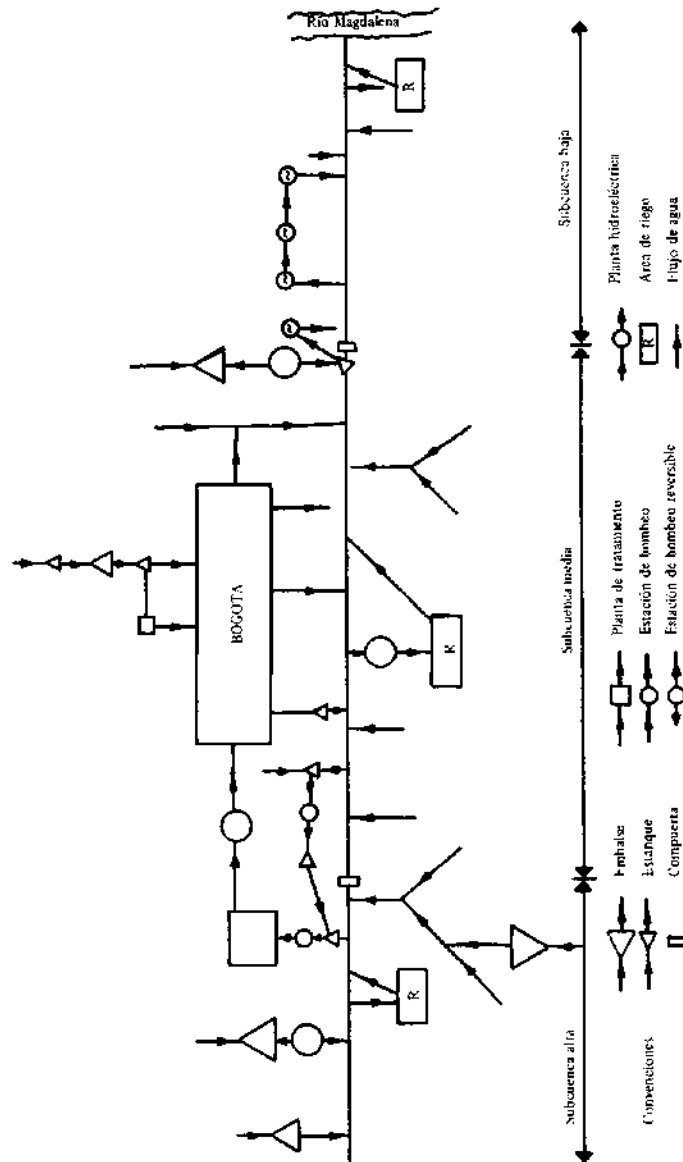
##### a) *El sistema actual*

La hoya puede dividirse en tres subcuencas. (Véase el gráfico XII-1.)

i) *La subcuenca alta.* Corresponde a la zona de drenaje aguas arriba de las compuertas de El Espino que controlan el nivel del agua necesario para su captación con destino a Bogotá. Abarca una superficie de 1 809 km<sup>2</sup>, con un rendimiento hídrico superficial medio de 14,2 m<sup>3</sup>/s y tiene una población total de 69 000 habitantes, la cual ha registrado una tasa anual media de disminución de 0,20/o durante los últimos años.

<sup>133</sup> Este capítulo es un resumen del estudio preparado para CEPAL/PNUMA por los autores como parte del proyecto ADEMA: *Análisis de la contaminación del Río Bogotá y sus soluciones*, Bogotá, septiembre de 1976.

Gráfico XII-1  
**RIO BOGOTA: DIAGRAMA FISICO DEL SISTEMA HIDRICO ACTUAL**



En esta subcuenca está la mayor parte de la capacidad de almacenaje de todo el sistema, representada por tres embalses (Tominé, Sisga y Neusa), cuya finalidad es regular el río Bogotá a fin de aumentar el caudal mínimo confiable del agua que ingresa al acueducto de Bogotá, agua que se aprovecha además para generar hidroelectricidad en la subcuenca baja. Estos embalses sirven, asimismo, para prevenir las crecidas del río Bogotá y, por consiguiente, para mejorar el drenaje de sus afluentes. En el cuadro XII-1 se muestra la capacidad de almacenaje útil de estos embalses y sus respectivos aportes hídricos medios.

Cuadro XII - 1

HOYA DEL RIO BOGOTA: CARACTERISTICAS DE LOS  
EMBALSES DE LA SUBCUENCA ALTA

| Embalse | (1)                                                          | (2)                                                                                        | (3)  | (1) / (2)                                                                             |
|---------|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|         | Capacidad de<br>almacenaje<br>útil<br>( $10^6 \text{ m}^3$ ) | Aporte hídrico<br>medio<br>$\frac{10^6 \text{ m}^3 / \text{año}}{\text{m}^3 / \text{seg}}$ |      | Relación entre<br>la capacidad<br>del almacenaje<br>útil y el aporte<br>hídrico medio |
| Tominé  | 690                                                          | 126                                                                                        | 4.00 | 5.48                                                                                  |
| Neusa   | 100                                                          | 61                                                                                         | 1.93 | 1.24                                                                                  |
| Sisga   | 96                                                           | 89                                                                                         | 2.82 | 1.08                                                                                  |
| Total   | 886                                                          | 276                                                                                        | 8.75 | 3.22                                                                                  |

Existe además una estación de bombeo reversible instalada aguas abajo del embalse de Tominé, con una capacidad de  $8 \text{ m}^3/\text{s}$ , la cual permite enviar agua desde el río Bogotá hacia el embalse y generar energía hidroeléctrica. La capacidad de almacenaje de los embalses y la estación de bombeo permiten regular bastante bien el caudal del río Bogotá en las compuertas de El Espino, pudiéndose obtener en este sitio un caudal confiable del orden del 70% de la escorrentía media anual.

ii) *La subcuenca media.* Comprende la zona de drenaje entre El Espino y las compuertas de Alicachín, que controlan el nivel del agua para su captación con destino a las plantas hidroeléctricas. Abarca una superficie de  $2\,472 \text{ km}^2$ , con un rendimiento hídrico superficial medio de  $15.6 \text{ m}^3/\text{s}$  y una población actual de 3.7 millones de habitantes que crece a una tasa media anual de 5.7%.

La ciudad de Bogotá está situada en la parte izquierda de la subcuenca y se ha extendido sobre las zonas de drenaje de los ríos Juan Amarillo y Fucha y sobre la parte baja del Tunjuelo, continuando su prolongación

hacia el Río Soacha. (Véase el mapa II-1 en el capítulo II, de la primera parte.) La capital se abastece principalmente de la planta de Tibitó, que proporciona actualmente  $7.5 \text{ m}^3/\text{s}$  para su distribución en la ciudad. Esta también se abastece aunque secundariamente, de la planta de Vitelma cuya capacidad es de  $1.5 \text{ m}^3/\text{s}$ . Aproximadamente 15% del agua utilizada en Bogotá se consume, el resto se transforma en aguas residuales que deben ser evacuadas en la ciudad.

El sistema de alcantarillado de Bogotá es mixto; en algunas zonas, generalmente las más antiguas, es combinado, es decir, recoge las aguas pluviales y las aguas negras, mientras que en los sectores más modernos ambas se recogen por separado.

En el distrito de Bogotá existen unas 23 400 hectáreas dedicadas a la agricultura, no todas ellas regadas, muchas de las cuales utilizan menos agua de la necesaria para lograr resultados óptimos. Existen fuera del distrito unas 118 000 hectáreas dedicadas a la agricultura, de las cuales se riegan aproximadamente 30 000 hectáreas, aunque su utilización es muy inferior a la óptima. En las partes bajas existen unas 100 000 hectáreas regables. El consumo potencial óptimo de toda la superficie regable es de unos  $15 \text{ m}^3/\text{s}$ , si bien se utiliza una proporción mucho menor. En algunas poblaciones se utilizan las aguas residuales para regar los cultivos en lugar de descargarlas directamente al sistema fluvial, reduciéndose en esta forma el problema de la contaminación del agua en la subcuenca.

La demanda actual de agua para usos no agrícolas se estima en  $0.28 \text{ m}^3/\text{s}$ , de los cuales se consume aproximadamente el 20% y el resto vuelve finalmente al sistema hídrico como escorrentía superficial.

En la parte más baja de la subcuenca está localizado el embalse del Muña I, con una capacidad de 42 millones de  $\text{m}^3$ . Su finalidad es regular el caudal del río del mismo nombre y almacenar agua bombeada desde el río Bogotá para mejorar la regulación de su caudal. La capacidad actual de las bombas es de  $12 \text{ m}^3/\text{s}$  con una unidad de bombeo reversible de  $8 \text{ m}^3/\text{s}$ .

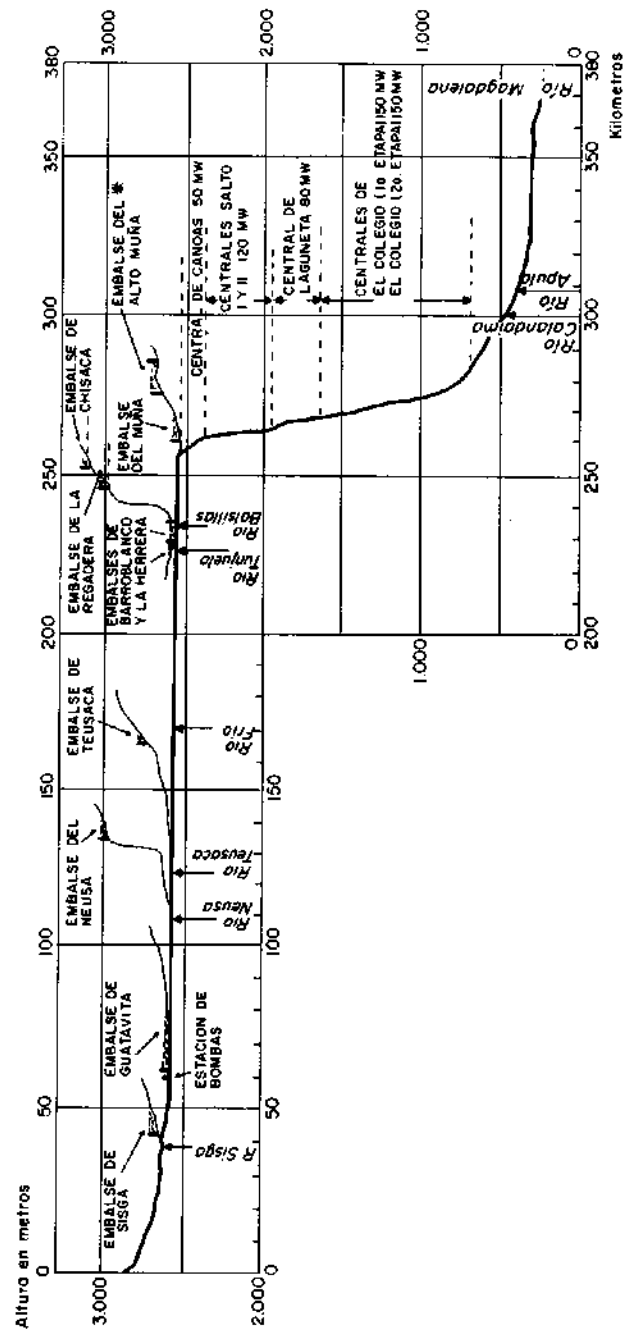
iii) *La subcuenca baja.* Comprende el resto de la cuenca y tiene una pendiente muy pronunciada, de características extraordinariamente favorables para su aprovechamiento hidroeléctrico; la pendiente disminuye en el tramo final antes de su desembocadura en el río Magdalena en la ciudad de Girardot (véase el mapa XII-1). Tiene una superficie de  $1\,740 \text{ km}^2$ , un rendimiento hídrico medio de  $17.8 \text{ m}^3/\text{s}$  y una población actual de 160 000 habitantes que ha venido disminuyendo a una tasa media anual de 1.9%. El uso de agua en esta zona para fines domésticos alcanza a sólo  $0.2 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Existen en la subcuenca unas 10 000 hectáreas planas dedicadas a la actividad agropecuaria, algunas de las cuales son regadas.

El aprovechamiento hídrico más importante del área es la generación de hidroelectricidad que realiza la Empresa de Energía Eléctrica de Bogotá (EEEB), la cual utiliza el agua que proviene casi exclusivamente de las otras dos subcuencas. El caudal del río Bogotá se capta en el estanque de Alicachín y se conduce a un sistema hidroeléctrico que está constituido

Mapa XII - I

PERFIL GENERAL DE LA CUENCA DEL RIO BOGOTA 9/



9/ Incluye obras de regulación y aprovechamiento hidroeléctricos

\* Obras en proyecto

por un conjunto de seis plantas situadas en serie a lo largo de una pendiente y cuya caída total es de unos 1 800 metros. La capacidad instalada de las plantas es de 670 megavatios y su capacidad firme es de cerca de 550 megavatios.

iv) *El balance hídrico superficial.* El gráfico XII-2 muestra el balance hídrico de la cuenca —desagregada por subcuencas— calculado sobre la base del caudal medio, e incluye las fuentes, los usos, los retornos y los consumos para cada subcuenca. La esorrentía total de la cuenca es de  $47.6 \text{ m}^3/\text{s}$ , de la cual el consumo neto alcanza a sólo  $3.5 \text{ m}^3/\text{s}$  y los restantes  $44.1 \text{ m}^3/\text{s}$  descargan al río Magdalena.

El consumo neto total por concepto de riego es de  $2.29 \text{ m}^3/\text{s}$  y el de uso doméstico e industrial es de  $1.22 \text{ m}^3/\text{s}$ . El mayor uso no consuntivo del agua corresponde a la hidroelectricidad y es de  $22.4 \text{ m}^3/\text{s}$ .

El caudal medio descargado al río Magdalena corresponde al 3.7% del caudal de este río.

#### b) *El sistema futuro*

El gráfico XII-3 muestra un esquema del sistema hídrico futuro estimado para la cuenca. Este incluye diversas obras que podrían realizarse según se indica a continuación.

— La ampliación de la capacidad del embalse del Sisga de 96 a 200 millones de metros cúbicos, que implica un aumento de más del doble de la actual.

— La ampliación de la estación de bombeo de Tominé de 8 a  $24 \text{ m}^3/\text{s}$  que permitirá aumentar la regulación de los caudales de la subcuenca alta, junto con una posible ampliación del embalse de Tominé.

— La segunda etapa del proyecto Chingaza (Chingaza II), según la cual el caudal medio aprovechable, proveniente de una zona de drenaje de 26 000 hectáreas, será de aproximadamente  $18.5 \text{ m}^3/\text{s}$  de los cuales  $11.7 \text{ m}^3/\text{s}$  irán al embalse de Tominé donde actualmente hay exceso de capacidad de almacenaje, y los  $6.8 \text{ m}^3/\text{s}$  restantes al embalse de Chuza para luego ser conducidos a través del túnel Palacio-Río Blanco a la planta de El Sapo. Se ha contemplado también la posibilidad de construir un embalse adicional en la zona de Chingaza para mejorar la regulación del agua. Actualmente, se está construyendo un subsistema adicional que utiliza las fuentes del macizo de Chingaza y que permitirá el hídrico futuro de la ciudad. Este proyecto, denominado Chingaza I, cuya puesta en marcha se prevé para 1978, hará posible que un caudal de  $13.5 \text{ m}^3/\text{s}$  pase a la futura planta de tratamiento denominada El Sapo cuya capacidad será de  $14 \text{ m}^3/\text{s}$ .

La ampliación de la planta de tratamiento de Tibitó de 12 a  $23.6 \text{ m}^3/\text{s}$ , y la consiguiente ampliación de las estaciones de bombeo que conducen el agua del río Bogotá a Tibitó y de esta planta al sistema de distribución de Bogotá.

— La ampliación del sistema de abastecimiento de agua para Bogotá

RÍO BOGOTÁ: BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL DE LA CUENCA PARA CAUDALES MEDIOS, 1973

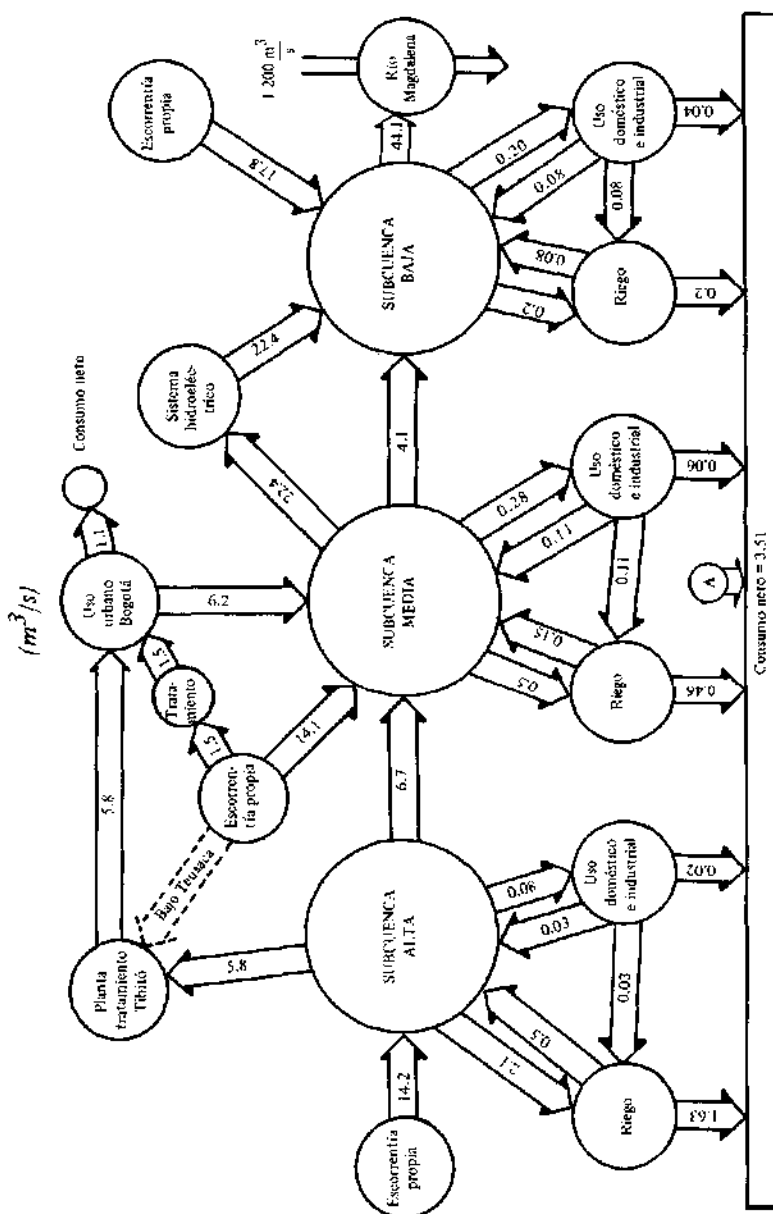
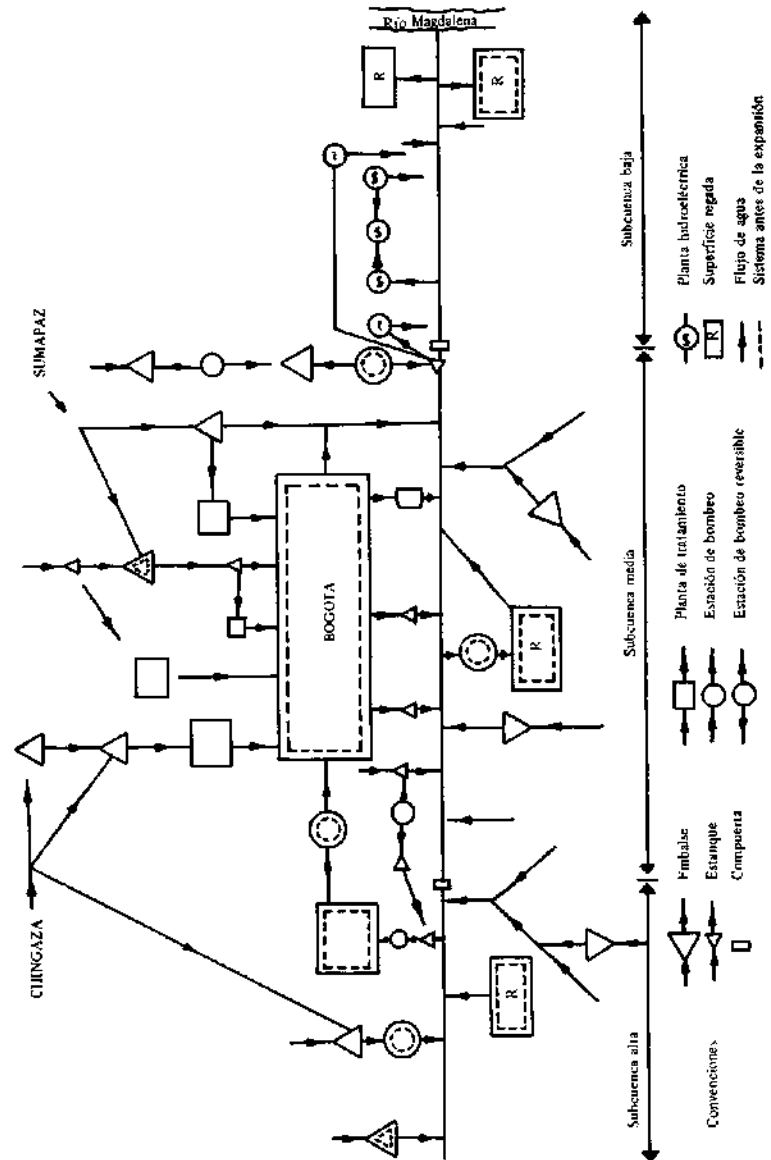


Gráfico XII-3  
**RIO BOGOTA: DIAGRAMA FISICO DEL SISTEMA HIDRICO FUTURO**



mediante la captación de la esorrentía entre las cotas 2 800 m y 3 400 m de una zona de avenamiento de 125 000 a 145 000 hectáreas. El rendimiento hídrico del área aprovechada de la hoya del río Blanco es de aproximadamente 7.1 m<sup>3</sup>/s en lapso seco, y el de las demás áreas es de 20.2 m<sup>3</sup>/s. Del embalse de Chisacá II el agua se conduciría a una futura planta de tratamiento en Chisacá y de allí al sistema de distribución.

- La regulación del agua del Sumapaz mediante un embalse sobre el río Soacha del cual se derivaría agua para una futura planta de tratamiento en Soacha con destino al abastecimiento de Bogotá.

- La regulación del caudal del río Teusacá, a través de dos embalses, La Calera y San Rafael; el primero estaría situado directamente sobre el río, en tanto que el segundo sería un embalse lateral que se comunicaría con el de La Calera a través de un sistema de bombeo reversible. A su vez, este último embalse se comunicaría con el de Tominé mediante un sistema de bombeo, lo cual permitiría aprovechar la capacidad de almacenaje excedente en este último embalse.

- La construcción de un estanque que se ha denominado El Chanco, destinado a mejorar las condiciones de drenaje y de prevención de las crecidas en la parte más baja del río Fucha.

- Acondicionamiento del cauce y la planicie fluvial de la zona más baja del río Tunjuelo como un sistema de regulación, con el fin de mejorar las condiciones de drenaje y de prevención de las crecidas en esta zona.

- La construcción del embalse La Virginia sobre el río Frío y del embalse Subachoque sobre el río del mismo nombre, con una capacidad de almacenaje de 22 y 37 millones de metros cúbicos respectivamente; que permitirían la regulación estacional, y por ende, el aprovechamiento para la agricultura de una superficie importante en la zona occidental (lado derecho del río) de la subcuenca.

- La construcción, de un segundo embalse sobre el río Muña, denominado Muña II, con una capacidad de almacenaje de 200 millones de metros cúbicos destinado a aumentar la capacidad de almacenaje del sistema. Dicho embalse no tendría afluencia propia sino que se comunicaría a través de un sistema de bombeo reversible con el embalse Muña I.

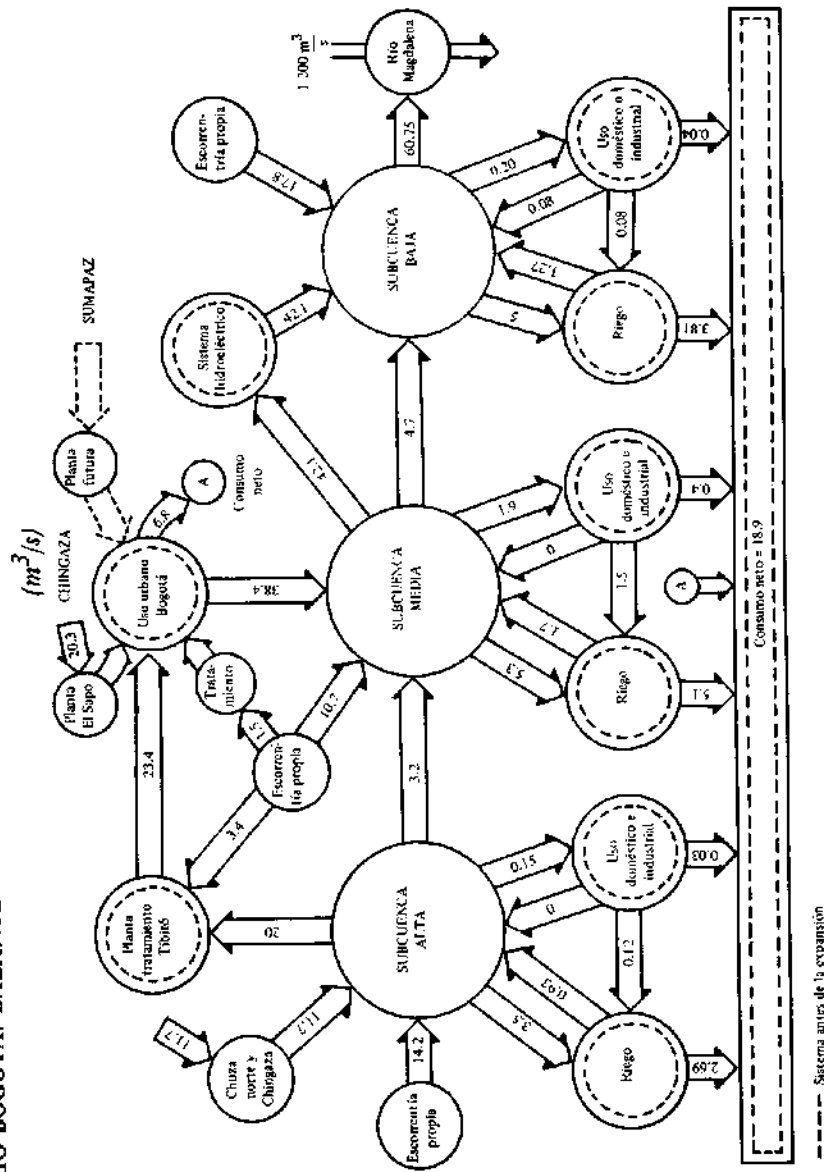
- La construcción de una nueva planta hidroeléctrica que aprovecharía el caudal transferido de Chingaza, tomándolo en Alicachín y transformándolo en energía en el sitio de El Colegio. Este proyecto denominado Colegio II, tendría una capacidad instalada de 630 megavatios al finalizar la segunda etapa del proyecto de Chingaza.

- La utilización del agua proveniente de las plantas hidroeléctricas para regar tierras en las zonas más bajas de la subcuenca, con el doble propósito de aprovecharla para la agricultura y mejorar la calidad del agua del río Bogotá.

Para los propósitos de este estudio se ha realizado un balance hídrico de la esorrentía superficial de la cuenca para el año 2000, que figura en el gráfico XII-4. En el cuadro XII-2 se exponen las cifras comparativas correspondientes a los años 1973 y 2000.

Gráfico XII-4

RIO BOGOTA: BALANCE HIDRICO SUPERFICIAL DE LA CUENCA PARA CAUDALES MEDIOS, AÑO 2000



CUENCA DEL RIO BOGOTA: FUENTES,  
TRANSFERENCIAS Y USOS DEL AGUA  
(m<sup>3</sup>/seg)

| <i>Fuentes y usos</i>   | <i>1973</i> | <i>2000</i> |
|-------------------------|-------------|-------------|
| <i>Fuente</i>           | 47.6        | 79.6        |
| Esorrentía propia       | 47.6        | 47.6        |
| Transferencias          | —           | 32.0        |
| <i>Usos</i>             | 33.1        | 103.4       |
| Doméstico e industrial  | 7.9         | 47.5        |
| Riego                   | 3.5         | 18.9        |
| Hidroelectricidad       | 22.4        | 42.1        |
| <i>Consumo</i>          | 3.5         | 18.9        |
| Doméstico e industrial  | 1.2         | 7.3         |
| Riego                   | 2.3         | 11.6        |
| <i>Al río Magdalena</i> | 44.1        | 60.7        |

*Fuente:* EAAB.

## 2. Análisis de la contaminación

### a) *La contaminación actual en la subcuenca alta*

Varios factores han influido para que el agua del río en esta zona sea en general de buena calidad. Primero, y dado que es una cuenca superior que no recibe aportes de otras áreas, no la afecta la contaminación producida fuera de ella. Segundo, esta subcuenca es actualmente fuente principal de abastecimiento de agua en Bogotá, y por eso ha sido protegida por el Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB) y la Corporación Autónoma Regional de la Sabana de Bogotá y de los valles de Ubaté y Chiquinquirá (CAR). Tercero, la población tributaria es reducida, básicamente rural, y su desarrollo industrial es escaso, lo cual ha permitido que la calidad del agua se mantenga aceptable dada la capacidad de asimilación del río en este tramo.

Sin embargo, la subcuenca no está completamente libre de contaminación, ya que en ella se originan residuos industriales y domésticos que afectan la calidad del agua. Entre Villapinzón y Chocontá se encuentran unas 50 pequeñas tenerías en las que se usa el río para lavar las pieles y vaciar desechos. Un poco más abajo, la planta termoeléctrica de Zipaquirá al utilizar el agua del río para sus torres de enfriamiento y retornarla al cauce fluvial, eleva su temperatura. Sin embargo, aunque las consecuencias

biológicas de este fenómeno no han sido determinadas, al parecer no revisiten importancia. En la parte más baja de la subcuenca existen además algunas industrias que descargan sus residuos al río Susaguá.

De otra parte, el río recibe directa o indirectamente los residuos domésticos de diez municipios con una población asentada en las cabeceras de unos 18 000 habitantes. Se presume que la población restante, que alcanza aproximadamente a 69 000 habitantes, por ser de carácter rural, no contribuye significativamente a la contaminación del agua.

#### *b) La contaminación actual en la subcuenca media*

Las condiciones del río cambian notablemente un poco más adelante de las compuertas de El Espino, al recibir en forma sucesiva las aguas negras de Zipaquirá, las aguas industriales de la planta de soda e industrias aledañas y las aguas servidas de uso doméstico e industrial de Bogotá. Los efectos de estas fuentes contaminantes se perciben a través de altísimas concentraciones de materia orgánica y cloruros, alto pH en la región de la planta de soda y desoxigenación del río en la mayor parte de los 70 km de recorrido, a partir de la entrada de las primeras aguas negras de Bogotá hasta Alicachín. Este sector del río, que es precisamente el más cercano a la ciudad de Bogotá, presenta un aspecto desagradable y olor nauseabundo. Los ríos urbanos Salitre, Fucha y Tunjuelo también se encuentran altamente contaminados en el propio perímetro urbano de Bogotá ya que son ellos los primeros en recibir las aguas negras de la ciudad para luego transportarlas al río Bogotá.

También merece especial atención en la subcuenca la contaminación del embalse de Muña, al cual se bombean aguas del río Bogotá en el sitio de Alicachín para su utilización posterior en la generación de energía durante las horas de máxima demanda. El embalse presenta desoxigenación total en el área aledaña a la entrada de las aguas del río Bogotá, desoxigenación en el resto de su extensión y gran crecimiento de algas en su superficie.

#### *c) La contaminación actual en la subcuenca baja*

A partir de las compuertas de Alicachín el río Bogotá no recibe ninguna otra carga contaminante de importancia, ya que la contribución de las pequeñas poblaciones situadas en esta parte de la cuenca es insignificante.

Las características físicas del lecho del río son diametralmente opuestas a las de las otras subcuencas, ya que éste presenta una marcada pendiente que produce gran turbulencia, factor importante para el proceso de autorrecuperación. Sin embargo, es tan masiva la contaminación que ha recibido el río en la subcuenca media, que su recuperación es sólo parcial, observándose con frecuencia desoxigenación total a su entrada al Magdalena.

En esta subcuenca se observa gran producción de espuma ocasionada por la turbulencia del río Bogotá y la presencia de detergentes no biodegra-

dables, cuyo uso es común en la ciudad de Bogotá. Al igual que en la subcuenca media, los peces han desaparecido en este sector y el río es pestilente y de aspecto desagradable.

Las poblaciones de Anapoima, Tocaima y Apulo utilizan estas aguas para el consumo, si bien el tratamiento a que se les somete es deficiente puesto que fue concebido para aguas naturales no contaminadas.

Resumiendo, en el cuadro XII-3 se presentan indicadores relativos a la calidad del agua del río Bogotá y de sus principales afluentes en la cuenca. El fenómeno de la contaminación se refleja con claridad en las subcuencas media y baja a través de los valores de los parámetros que miden la calidad del agua. De otra parte, los valores de los parámetros para la subcuenca alta indican que la calidad del agua en esta zona es aceptable.

### *3. El objeto y la metodología del estudio*

En este trabajo se examinan las tres hipótesis fundamentales que se indican a continuación.

Hipótesis I. Existe un acentuado y creciente problema de contaminación del agua en la cuenca del río Bogotá.

Hipótesis II. La escasa disponibilidad de recursos financieros para inversión es una restricción importante y por lo tanto es necesario ajustar los objetivos de la calidad del agua con el fin de lograr una solución financieramente factible.

Hipótesis III. El mejoramiento de la calidad del agua del río Bogotá supone perfeccionar el sistema institucional.

Para verificar las hipótesis postuladas se aplicaron los procedimientos siguientes.

Se realizaron balances de materias orgánicas biodegradables (DBO) y de oxígeno disuelto (OD) en cada una de las subcuencas para los años 1973 y 2000, a fin de comprobar la hipótesis I. Se compararon los costos considerando diferentes calidades del agua en cada tramo del río al ser aplicadas las diversas soluciones técnicas propuestas para resolver el problema de la calidad del agua, con el objeto de verificar la hipótesis II. Se analizaron las medidas para perfeccionar el sistema institucional existente a fin de mejorar la calidad del agua del río Bogotá y comprobar la hipótesis III.

La hipótesis I queda en evidencia al comparar los gráficos XII-5 y XII-6, y los gráficos XII-7 y XII-8 respectivamente. En ellos se presentan balances de la materia orgánica biodegradable, expresada en función de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO)<sup>134</sup> y balances de oxígeno disuelto (OD), tanto para el año 1973 como para el año 2000. Las estimaciones para el año 2000 se hicieron en forma congruente con las proyecciones del

<sup>134</sup> La DBO utilizada en estos balances es la última, la cual equivale aproximadamente a 1.5 (DBO<sub>5</sub>).

Cuadro XII-3

## HOYA DEL RIO BOGOTÁ: CALIDAD DEL AGUA

| Subcuenca | Río    | Punto            | Caudal<br>medio<br>(m <sup>3</sup> /s) | DBO 5<br>mg/l  | OD<br>mg/l | Cloruros<br>mg/l | pH   | NMP<br>Coliformes/100ml                       | Bacterias<br>Colonias/m <sup>3</sup>          |
|-----------|--------|------------------|----------------------------------------|----------------|------------|------------------|------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Alta      | Bogotá | Baraya           | 1.1<br>(0.2)                           | 1.6<br>(8.8)   | 6.5        | 12.4             | 6.7  |                                               | -                                             |
|           |        | Tomine           | 10.2<br>(1.0)                          | 2.1<br>(21.4)  | 5.9        | 6.3              | 6.9  | -                                             |                                               |
|           |        | El Espino        | 12.5<br>(1.5)                          | 2.4<br>(20.0)  | 5.1        | 7.4              | 6.8  | -                                             | -                                             |
| Media     | Bogotá | Puente<br>Vargas | 14.7<br>(2.8)                          | 1.7<br>(8.9)   | 5.3        | 91.2<br>(479)    | 9.1  | 5 900<br>(31 000)                             | -                                             |
|           |        | Vía Chiacota     | 0.44                                   | 4.4            | 2.0        | 1.0              | 6.5  | -                                             | -                                             |
|           | Chicú  | Buenavista       | 0.44                                   | 1.2            | 2.7        | 5.1              | 6.5  | -                                             | -                                             |
|           | Fucha  | Fontibón         | 6.3                                    | 253.1          | -          | 63.7             | -    | -                                             | -                                             |
|           | Bogotá | La Isla          | (8.6)                                  | (104.5)        | -          | (289)            | -    | (5x10 <sup>7</sup> )                          | (2x10 <sup>6</sup> )                          |
|           | Bogotá | Las Huertas      | 26.3                                   | 86.9           | -          | -                | -    | -                                             | -                                             |
|           | Bogotá | Alicachín        | 26.5<br>(10.7)                         | 24.6<br>(61.0) | 0.35       | 94.3<br>(234)    | -    | 7.3x10 <sup>6</sup><br>(1.8x10 <sup>7</sup> ) | 8.9x10 <sup>5</sup><br>(2.2x10 <sup>6</sup> ) |
|           | Baja   | Bogotá           | 29.45                                  | 15.9           | 3.3        | 93.4             | 7.39 | -                                             | -                                             |
|           |        | Calan-<br>daima  | 4.5                                    | 2.3            | 6.8        | 8.8              | 8.11 | -                                             | -                                             |
|           | Bogotá | Tocaima          | 40.9                                   | 18.6           | 4.6        | 67.3             | 7.65 | -                                             | -                                             |
|           | Bogotá | Girardot         | 44.1                                   | 10.8           | 1.7        | 78.2             | 7.61 | -                                             | -                                             |

Nota: Las cifras entre paréntesis se refieren a condiciones de caudal que es excedido con 90% de probabilidad.

Gráfico XII-5  
**BALANCE DE LA MATERIA ORGANICA BIODEGRADABLE EN EL SISTEMA HIDRICO DE LA CUENCA DEL RIO BOGOTA PARA CAUDALES MEDIOS, AÑO 1973**  
*(DBO: kg/día)*

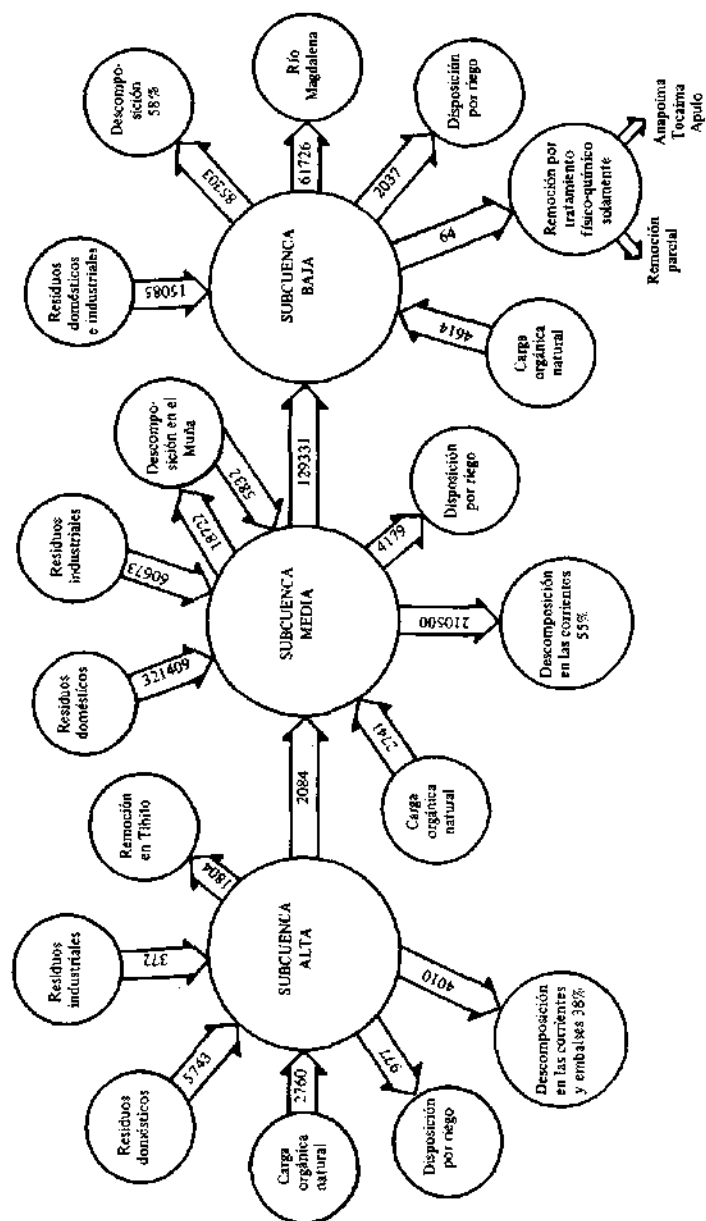


Gráfico XII-6  
**BALANCE DE OXIGENO DISUELTO EN EL SISTEMA HIDRICO DEL RIO BOGOTA**  
**PARA CAUDALES MEDIOS, AÑO 1973**  
*(OD: kg/día)*

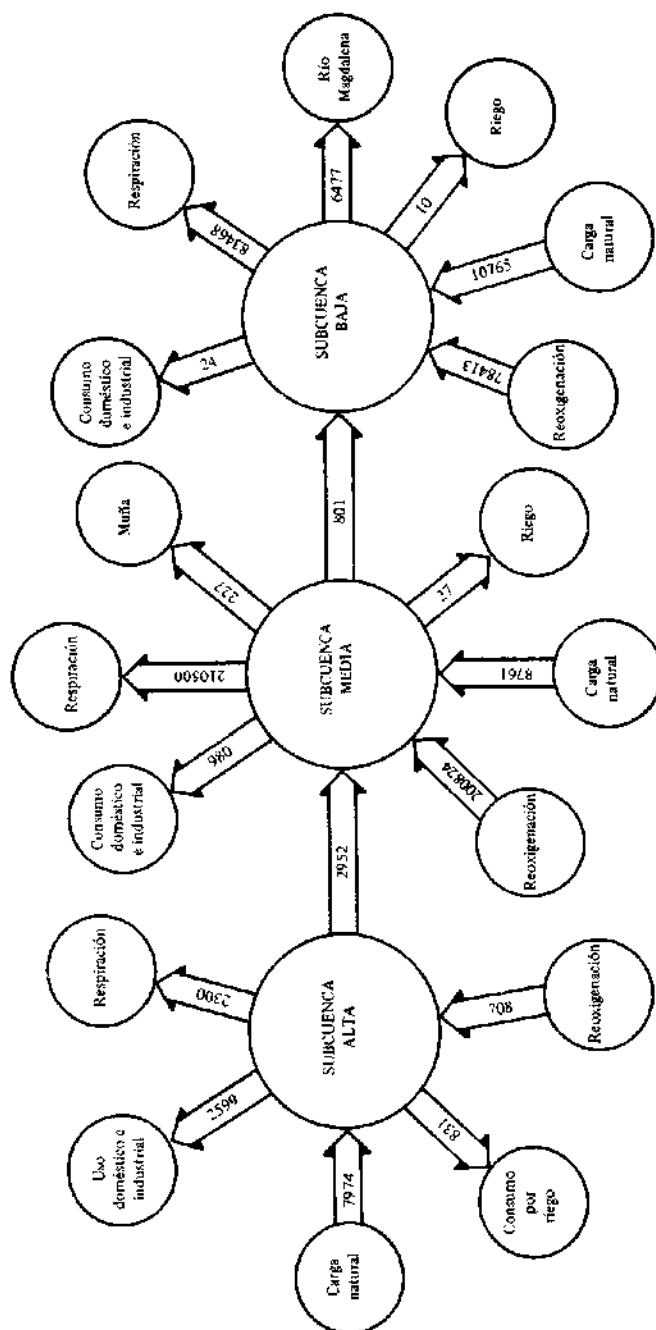


Gráfico XII-7  
**BALANCE DE LA MATERIA ORGANICA BIODEGRADABLE EN EL SISTEMA HIDRICO DE LA CUENCA  
 DEL RIO BOGOTA PARA CAUDALES MEDIOS, AÑO 2000**  
*(DBO: kg/día)*

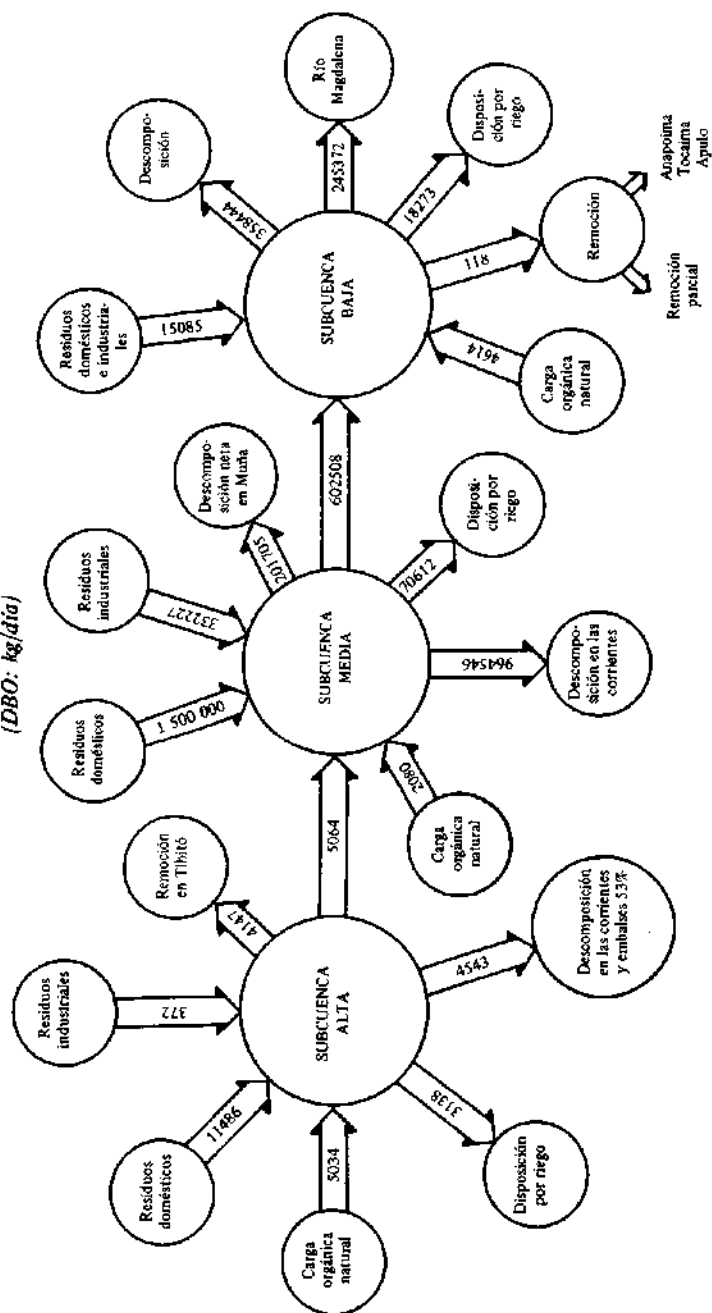
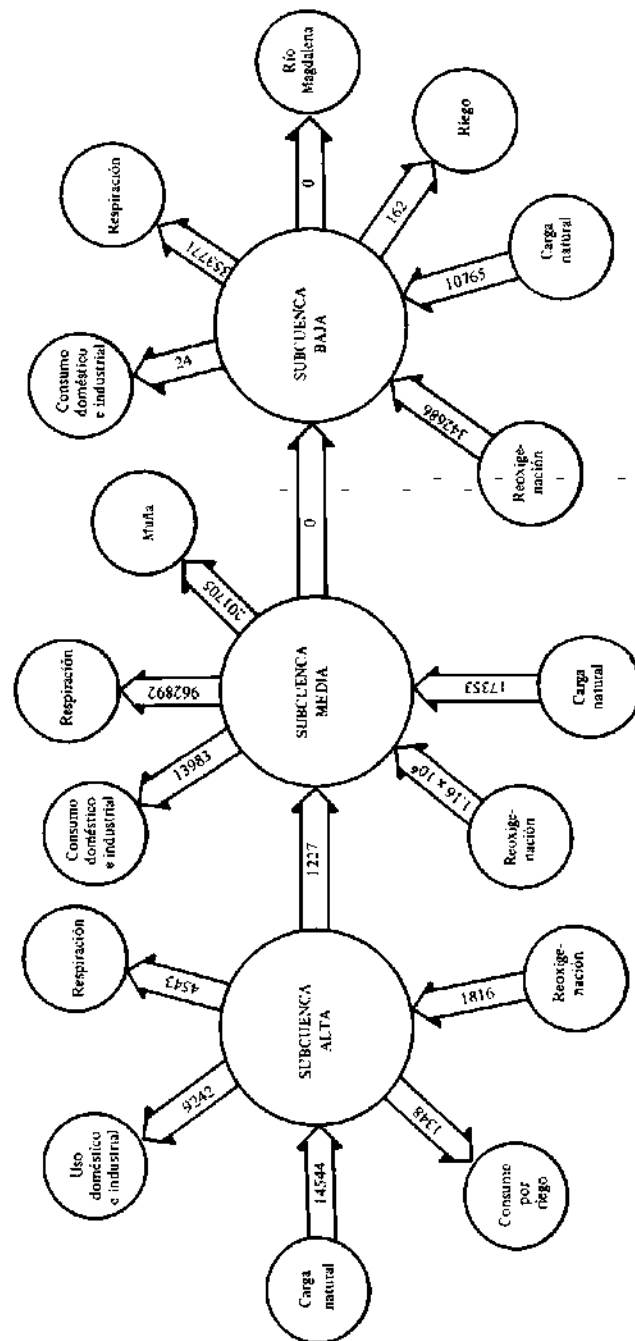


Gráfico XII-8  
**BALANCE DEL OXIGENO DISUELTO EN EL SISTEMA HIDRICO DEL RIO BOGOTA**  
**PARA CAUDALES MEDIOS, AÑO 2000**  
*(OD: kg/día)*



balance hídrico para ese año suponiendo que no se tomaran medidas preventivas de la contaminación del agua.

Del balance comparativo de la DBO se puede inferir lo siguiente:

- a) La carga orgánica natural no aumentaría sustancialmente puesto que se extrae la materia orgánica biodegradable en las plantas de tratamiento para el abastecimiento de agua.
- b) La carga de origen doméstico e industrial podría ser cuatro o más veces superior a la de 1973 al considerar toda la cuenca. El aumento se produciría en su mayor parte en la subcuenca media.
- c) La descomposición en la cuenca se cuadruplicaría con creces debido principalmente a los aumentos correspondientes a las subcuencas media y baja.
- d) La recuperación parcial de la calidad del agua gracias al riego podría ser alrededor de 13 veces superior a la lograda en 1973.
- e) La descomposición neta en el embalse Muña (incluida su expansión futura) podría llegar a quintuplicarse.
- f) Las materias orgánicas biodegradables aumentarían en 330/o en El Espino, casi se quintuplicarían en Alicachín y se cuadruplicarían en la confluencia con el río Magdalena.
- g) La concentración de la DBO del río Magdalena se elevaría en 2.4 mg/lit sobre la actual, considerando el caudal medio.

Del balance comparativo del OD se puede deducir lo siguiente:

- a) La carga natural de oxígeno se incrementaría en un 550/o por efecto de la transferencia de nuevos caudales a la cuenca.
- b) El consumo de oxígeno por el uso doméstico e industrial del agua aproximadamente se sextuplicaría debido al correspondiente aumento en el balance hídrico para estos usos.
- c) La reoxigenación se multiplicaría por un factor aproximado de 5.4 y aumentaría especialmente en las subcuencas media y baja.
- d) El consumo de oxígeno por riego sólo tendría un aumento moderado debido a que en gran parte se regaría con aguas residuales.
- e) El oxígeno disuelto desaparecería totalmente a partir de la subcuenca media en todo el resto del río hasta su desembocadura en el Magdalena.

La hipótesis II está estrechamente relacionada con los objetivos de calidad del agua postulados para el río Bogotá en sus diferentes tramos.

Se han fijado provisionalmente los siguientes criterios para tratar y eliminar las aguas negras.

- a) Preservar la vida acuática en el río Bogotá aguas arriba de la Balsa.
- b) Evitar la multiplicación de bacterias anaerobias en el río Bogotá, de la Balsa al río Tunjuelo, y liberar el material flotante y el calor objetable en el mismo tramo.
- c) Mantener el río Bogotá en condiciones suficientemente aceptables como para no contaminar el río Magdalena hasta el punto que no pueda utilizarse para la práctica de deportes acuáticos en Girardot ni incrementar el costo de la navegación ni de la fuerza eléctrica.

No obstante existir estos criterios provisionales, la EAAB ha elaborado un plan de obras que considera sólo los siguientes objetivos de calidad:

- a) evitar el mal olor del río Bogotá en la proximidad de las áreas urbanas de la Sabana de Bogotá;
- b) mantener un nivel apreciable de oxígeno disuelto aguas arriba de Tibitó, y
- c) conservar la pesca en el río Magdalena.

Para cumplir estos objetivos habría que realizar el programa de obras básicas indicado en el cuadro XII-4, seleccionadas según el criterio de costo mínimo.

Además de la inversión básica se requerirán obras adicionales de subido costo. Por ejemplo, la construcción de los sistemas troncal y local que hagan posible recolectar las aguas residuales y abastecer de agua a la ciudad. Las cifras estimadas se indican en el cuadro XII-5.

Si se pospusiera el cumplimiento de uno de los objetivos vinculados a la calidad del agua, es decir si no se considerara la conservación de la pesca en el río Magdalena en Girardot, se podrían recomendar las siguientes soluciones técnicas o proyectos:

- Construcción inmediata de un interceptor entre Juan Amarillo y Alicachín, y de estaciones de bombeo en Alicachín, El Tintal y Jaboque con un costo aproximado de 91 millones de dólares de 1976.

Extensión, en 1988, del interceptor desde Juan Amarillo hasta el Canal de Torca, expansión de la estación de bombeo en Alicachín y construcción de una estación de bombeo en Torca, con un costo aproximado de 17.4 millones de dólares de 1976.

Expansión, en 1991, del interceptor en el tramo Fucha-Alicachín, ampliación de la estación de bombeo en Alicachín y construcción de una estación de bombeo en Balsillas, con un costo aproximado de 26 millones de dólares de 1976.

La recomendación más importante es postergar y reestudiar la construcción de las plantas de tratamiento de aguas servidas propuestas: Chía y Tocaima, en razón de su alto costo (véase nuevamente el cuadro XII-4).

Existe también la posibilidad de utilizar el embalse del Muña I, con el propósito adicional de mejorar la calidad del agua. Esto podría lograrse modificando el diseño de las estructuras de salida del embalse, de tal manera que se prolongara al máximo el tiempo de viaje del agua en el mismo, pudiendo utilizarse un sistema de aireadores para acelerar su proceso de reoxigenación.

Los balances de DBO y OD muestran la importante función que actualmente cumple el embalse en el proceso de recuperación de la calidad del agua. Al construir el embalse Muña II, sus posibilidades pueden ampliarse significativamente puesto que éste tendría una gran capacidad de almacenaje. No obstante, la factibilidad técnica y económica de esta posibilidad debería estudiarse cuidadosamente en el futuro teniendo presente otras posibles soluciones del problema.

Cuadro XII-4

**HOYA DEL RIO BOGOTÁ: PROGRAMA DE OBRAS  
PROPUESTO POR LA EAAB**  
(Millones de dólares de 1976)

| <i>Actividad</i>                                            | <i>Costo</i> |
|-------------------------------------------------------------|--------------|
| Intercepción, tratamiento y eliminación de aguas residuales |              |
| Interceptor Torca-Alicachín y obras accesorias              | 137.4        |
| Planta de tratamiento piloto en Tocaima                     | 2.9          |
| Planta de tratamiento piloto en Chía                        | 2.6          |
| Planta de tratamiento en Chía                               | 20.0         |
| Planta de tratamiento en Tocaima                            | 65.3         |
| <i>Total</i>                                                | <i>228.2</i> |

*Fuente:* EAAB.

Cuadro XII-5

**INVERSIONES FUTURAS EN EL SISTEMA COMPLETO  
DEL RIO BOGOTÁ, 1976-2000**  
(Millones de dólares de 1976)

| <i>Programa</i>                                             | <i>Costo</i>   |
|-------------------------------------------------------------|----------------|
| Abastecimiento de agua                                      | 321.9          |
| Distribución y tratamiento del agua potable                 | 161.2          |
| Drenaje pluvial                                             | 361.4          |
| Recolección de aguas residuales                             | 273.6          |
| Intercepción, tratamiento y eliminación de aguas residuales | 228.2          |
| Mejoramiento del río Bogotá y sus tributarios               | 28.2           |
| <i>Total</i>                                                | <i>1 375.1</i> |

*Fuente:* EAAB.

El análisis de la hipótesis III, que dice relación con el perfeccionamiento institucional, se basa en la comparación entre lo dispuesto por las leyes vigentes relacionadas con el medio ambiente, (principalmente el Código de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente y el Código Sanitario) y los resultados logrados por las diferentes instituciones que se ocupan de estas materias en la cuenca.

Estas disposiciones no han sido aplicadas efectivamente en la práctica, aparte de que se carece de un mecanismo que permita orientar adecuadamente los recursos financieros para cubrir los costos que supone prevenir la contaminación. Los problemas relacionados con la calidad del agua existen a lo largo de toda la cuenca de modo que es conveniente que las soluciones tengan en cuenta la cuenca completa como unidad de manejo. Para eso sería necesario ampliar la actual jurisdicción de la CAR y crear un fondo financiero destinado a prevenir la contaminación del río.

#### *4. Conclusiones y recomendaciones*

Se ha comprobado la hipótesis de que existe un acentuado problema de contaminación hídrica en la cuenca del río Bogotá. El problema se manifiesta con claridad a través de los balances de la materia orgánica biodegradable y del oxígeno disuelto, como se ha expuesto en esta investigación.

Las proyecciones de los balances de la materia orgánica biodegradable y del oxígeno disuelto hacia el año 2000 muestran que de no introducirse medidas efectivas de control, la calidad del agua del río se deterioraría en forma considerable hasta el punto de que el oxígeno disuelto desaparecería totalmente a partir de la subcuenca media.

Existen fuertes restricciones financieras que impiden poner en práctica una solución de gran envergadura para prevenir la contaminación que tenga presente los objetivos de largo plazo sobre la calidad del agua hasta ahora considerados. El plan más ambicioso de abastecimiento de agua y su evacuación tendría un costo medio de largo plazo por habitante ascendiente a 4.7 veces el valor de la tarifa actual de agua y alcantarillado.

Es necesario establecer objetivos de mediano plazo menos ambiciosos en materia de calidad del agua y excluir por el momento las plantas de tratamiento, con el fin de lograr una solución financieramente factible basada en el pago de los usuarios.

Se ha replanteado un programa de soluciones técnicas a partir de las obras de mayor prioridad, con el fin de impedir la contaminación acelerada del agua, el cual si bien es financieramente factible, exigirá un esfuerzo importante por parte de los usuarios. En efecto, los costos que éstos tendrían que pagar variarían durante el período 1976-2000 entre el 310/o y el 440/o de la tarifa actual de agua y alcantarillado.

Además de las soluciones técnicas, es necesario aplicar efectiva y sistemáticamente medidas para prevenir la contaminación industrial, ya sea exigiendo niveles mínimos de calidad para los efluentes, o un pago adicional al contaminador. La aplicación de este tipo de medidas debe ir precedida de un cuidadoso estudio técnico y económico.

Se considera conveniente perfeccionar el sistema institucional teniendo presente que es necesario:

- reestructurar la jurisdicción de la CAR para incluir toda y sólo la cuenca del río Bogotá, y

— crear un fondo financiero para prevenir la contaminación hídrica del río Bogotá, que sea una entidad privada cuyos socios serían la CAR, la EAAB y la EEEB, con la participación del gobierno nacional a través del Departamento Nacional de Planeación como miembro de su junta directiva.

## BIBLIOGRAFIA

- Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento (BIRF) y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), *Plan de estructura para Bogotá*, informe técnico sobre el estudio de desarrollo urbano de Bogotá, República de Colombia, fase 2, Bogotá, 1974.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), *XIV Censo nacional de población y III de vivienda*, (resultados provisionales), Bogotá, 1974.
- Departamento Nacional de Planeación (DNP), *Datos básicos sobre la hoya del río Bogotá*, Bogotá, octubre de 1968.
- Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB)/CDM-CEI-PLANHIDRO:
- Estudio del Río Bogotá*, informe técnico N° 1, Bogotá, noviembre de 1972.
- Estudio del Río Bogotá*, informe técnico N° 2, Bogotá, noviembre de 1973.
- Estudio del Río Bogotá*, informe final, Bogotá, febrero de 1974.
- Bogotá river improvements, flood control, water resources, and wastewater disposal*, Bogotá, febrero de 1974.
- Consideraciones hidroeléctricas relativas a la energía disponible de agua importada a la cuenca del Río Bogotá*, R. Burnett, abril de 1973.
- Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB), *Informe de gerencia*, Bogotá, 1974.
- Ministerio de Agricultura, República de Colombia, *Código de recursos naturales renovables y de protección al medio ambiente*, Bogotá, 1975.
- Ministerio de Salud Pública, República de Colombia, *Código sanitario nacional*, Bogotá, 1953.
- Poblete, J.A., *Aprovechamiento integral de los recursos hidráulicos de la cuenca hidrográfica del río Bogotá: una apreciación*, Corporación Autónoma Regional de la Sabana y de los Valles de Ubaté y Chiquinquirá (CAR), Bogotá, noviembre de 1972.

## Capítulo XIII

### INTENSIFICACION DEL USO DE LAS AGUAS EN EL RIO MAIPO, CHILE<sup>135</sup>

Luis Court Moock  
Hernán Baeza Sommers  
René Gómez Díaz

#### *Introducción*

La cuenca del río Maipo está situada en la región central de Chile (véase el mapa XIII-1) aproximadamente a 2 000 kilómetros del extremo norte del país (Arica) y a 2 700 kilómetros del extremo sur continental (Punta Arenas). Limita al norte con la hoya del río Aconcagua, al sur con la hoya del río Cachapoal, al oriente con la República Argentina y al poniente con el océano Pacífico. En ella está comprendida íntegramente el área urbana del Gran Santiago cuya población, según el censo de 1970, asciende a casi tres millones de habitantes.

En la cuenca superior del río Maipo no hay suficiente disponibilidad de agua de buena calidad para atender las necesidades de agua potable (fundamentalmente de la ciudad de Santiago) y de agua de riego, que son primordiales en esta región. En cambio este problema no afecta a los usuarios de la industria, la minería y la producción de hidroelectricidad cuyas necesidades siguen en importancia a las dos anteriores. El incremento de la demanda de agua potable ha reducido las disponibilidades de agua para riego de manera que en la actualidad no es posible regar con la debida regularidad la superficie de cultivo total ni menos aún incrementar dicha superficie, pese a que existen tierras de secano disponibles a tal fin

<sup>135</sup> Este capítulo es un resumen del estudio preparado para CEPAL/PNUMA por los autores como parte del proyecto ADEMA titulado: *Utilización del agua en la parte superior de la cuenca del río Maipo*, Santiago, octubre de 1976.



(Santiago norte y Curacaví-Casablanca). Los terrenos de regadío de la cuenca media e inferior del río Maipo no presentan problemas de escasez de agua pues se abastecen con excedentes y recuperaciones provenientes de la cuenca superior y además, con algunos recursos locales menores.

A los problemas derivados de la insuficiente disponibilidad de agua se agrega el de la calidad de este recurso. Las fuentes principales de agua —los recursos superficiales provenientes de la alta cordillera y las aguas subterráneas del valle— aunque son de buena calidad sanitaria, contienen exceso de sales minerales (cloruros y sulfatos), lo que va en detrimento de su calidad como agua potable. En cuanto a su aprovechamiento agrícola, sin bien sus propiedades químicas son aceptables, su alto contenido de boro hace aconsejable que se tomen algunas precauciones. En general las aguas son aceptables para uso industrial pese a que son bastante duras.

Además de los problemas derivados de la calidad natural del agua, existen otros ocasionados por la contaminación artificial (cobre y arsénico en las aguas del río Mapocho, el afluente mayor, provenientes de las descargas de las explotaciones mineras en la cuenca superior de este río y concentración excesiva de nitratos en las aguas subterráneas de algunos sectores de la cuenca procedentes de contaminaciones orgánicas). Sin embargo el problema más grave es el riego con los efluentes del alcantarillado del Gran Santiago de las áreas que constituyen una de las fuentes más importantes de abastecimiento de productos hortícolas de la ciudad y que dan origen al principal foco de enfermedades entéricas que afectan a la población.

Para solucionar los problemas del agua en la cuenca superior del río Maipo, teniendo especialmente en cuenta la necesidad de preservar el medio ambiente, es preciso aumentar la cantidad disponible de este recurso y adecuar la calidad a sus diversos usos. Con este objeto es fundamental aprovechar mejor los recursos de agua de que se dispone y regular los cursos naturales y, como medida sustitutiva o complementaria, captar agua en las cuencas vecinas. Para estudiar estas soluciones sobre la base de modelos de simulación, es preciso además verificar las condiciones generales del medio ambiente dadas las múltiples implicaciones que se presentan.

En las páginas siguientes se analizan todos estos problemas y se proponen medidas y soluciones posibles, se estiman los costos y beneficios que ellas suponen y se estudian sus consecuencias sobre el medio ambiente. Al final del estudio se incluye una reseña de los principales aspectos institucionales de la planificación y el manejo de los recursos hídricos.

### *1. Los recursos hídricos disponibles*

El río Maipo, aguas arriba de su salida al Valle Central, tiene una hoya hidrográfica de 4 944 km<sup>2</sup>, situada en su mayor parte a más de 700 metros sobre el nivel del mar. Dada esta última característica, este río tiene un régimen predominantemente glacial, con grandes caudales de verano y estiajes muy pronunciados en invierno. El volumen medio anual de escurri-

miento del río en su salida al Valle Central<sup>136</sup> es de unos 2 620 millones de m<sup>3</sup> (83.5 m<sup>3</sup>/seg), y son frecuentes los caudales del orden de 170 m<sup>3</sup>/seg en verano y de sólo unos 40 m<sup>3</sup>/seg en los meses de invierno. La variación diaria de los caudales resulta menos acentuada que las variaciones estacionales; sin embargo, se registran caudales diarios que varían entre 80 y 1250/o del caudal medio mensual. Las variaciones horarias son aún menos acentuadas que las anteriores, variando normalmente el caudal horario entre un 90 y un 1100/o del medio diario. En años secos, por ejemplo, con 900/o de probabilidad de excedencia, el volumen anual escurrido se reduce a unos 2 030 millones de m<sup>3</sup> (64.5 m<sup>3</sup>/seg ).

El río Mapocho, tributario del río Maipo, tiene una hoya hidrográfica de 1 005 km<sup>2</sup> antes de su salida al Valle Central. Su cuenca es de menor altura que la del río Maipo, por lo que pese a que su régimen es nival -por ser de cordillera baja-, el caudal de estiaje se produce en los meses de otoño, presentando un leve aumento en invierno debido a las lluvias. Por la altura de su hoya, los deshielos comienzan temprano en primavera, llegando a un máximo en noviembre para bajar rápidamente en los meses de verano. El volumen medio anual escurrido, antes de su salida al Valle Central, es de unos 250 millones de m<sup>3</sup> (7.9 m<sup>3</sup>/seg ), reduciéndose en años secos, con 900/o de probabilidad de excedencia, a 110 millones de m<sup>3</sup> (3.5 m<sup>3</sup>/seg). Las variaciones diarias y horarias de este río son similares a las señaladas para el río Maipo.

El río Maipo, en su afluente El Yeso, en la alta cordillera, posee un embalse de regulación de 250 millones de m<sup>3</sup> de capacidad útil. El caudal medio anual que afluye a este embalse es de unos 8 m<sup>3</sup>/seg y no regula más de 100/o de los recursos de la hoya hidrográfica del Maipo. El río tiene, además, una regulación natural en la Laguna Negra, de la que se obtiene para agua potable un caudal medio anual de 2.5 m<sup>3</sup>/seg, que podría ampliarse a 3 m<sup>3</sup>/seg. En la cuenca del río Mapocho no existen obras de regulación ni posibilidades físicas adecuadas para realizarlas.

Las aguas subterráneas de la cuenca se aprovechan principalmente en los sectores central, norte, poniente y sur-poniente de la ciudad de Santiago, con un caudal medio anual estimado de unos 10 m<sup>3</sup>/seg.

Las características de los acuíferos existentes permiten suponer que la explotación actual podría aumentarse en el futuro.

## *2. La demanda de recursos hidráulicos*

### *a) El agua potable*

Dadas las dotaciones y poblaciones estimadas y las distintas fuentes de abastecimiento, el consumo medio anual de agua potable previsto para el

<sup>136</sup> Estadísticas de la Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas.

Gran Santiago en el año 2025 es de unos 42 m<sup>3</sup>/seg (en 1970, la dotación media de agua potable por persona fue de 346 litros diarios por habitante). Para el futuro se prevén dotaciones mínimas de 360 litros diarios por persona y máximas de hasta 1200 litros en el sector céntrico comercial. Debe tenerse presente que las proyecciones del crecimiento demográfico indican para la ciudad de Santiago un aumento medio de población del orden de un millón de habitantes cada diez años, de donde se desprende la previsión del consumo medio anual de agua potable antes señalada.

*b) El regadío*

Los actuales sistemas de riego que se emplean en la zona utilizan, principalmente, el riego por inundación. Estos sistemas conducen a una baja eficiencia en el uso de las aguas produciéndose una importante infiltración hacia las napas subterráneas y abundantes recuperaciones en los cauces naturales. Estas recuperaciones, que constituyen una fuente de abastecimiento de agua para los terrenos situados aguas abajo en la cuenca, hacen que, sin bien la eficiencia predial en el uso del agua sea baja, la eficiencia global de toda la cuenca sea relativamente alta.

La eficiencia en la aplicación del agua al suelo ha variado entre 0.2 y 0.6 según las clases de suelos y tipos de cultivos. Para el futuro, y mediante prácticas adecuadas de riego, se estima que estos niveles de eficiencia deben quedar comprendidos entre 0.5 y 0.7.

Las dotaciones actuales por hectárea medidas en las bocatomas de los canales matrices de riego son del orden de 20 000 m<sup>3</sup> al año, con variaciones mensuales de las tasas de riego como las indicadas en el cuadro XIII-1.

Si se aplicasen medidas adecuadas de redistribución de los derechos de aguas vigentes, una eficiente regulación nocturna de las aguas y sistemas especiales de regadío y reparto de las aguas por volúmenes, sería posible reducir, después del año 2000 las dotaciones de riego a unos 13 000 m<sup>3</sup> por hectáreas al año.

Cuadro XIII-1

RIO MAIPO: VARIACION MENSUAL DE LAS  
TASAS DE RIEGO EN LA CUENCA  
(Porcentajes)

|            |      |           |      |
|------------|------|-----------|------|
| Mayo       | 1.3  | Noviembre | 13.7 |
| Junio      | 1.3  | Diciembre | 15.3 |
| Julio      | 1.3  | Enero     | 15.3 |
| Agosto     | 1.3  | Febrero   | 14.1 |
| Septiembre | 7.6  | Marzo     | 10.7 |
| Octubre    | 11.4 | Abril     | 6.7  |

Actualmente, la superficie bajo canales, correspondiente a la primera sección del río Maipo abarca una extensión de 109 500 hectáreas la que probablemente se reducirá hacia el futuro por el crecimiento urbano de Santiago (véase el cuadro XIII-2).

Según la previsión existente para el año 2000, si no se realizan obras para aumentar la disponibilidad de los recursos de agua (regulación del Maipo o trasposos del río Cachapoal), la superficie regada con 850/o de seguridad de riego en la primera sección del río Maipo disminuiría a 63 700 hectáreas. En el año 2025, ella se vería reducida a 38 600 hectáreas y se mantendrían en condiciones de secano importantes áreas de Santiago norte y Curacaví-Casablanca.

En cambio, de contarse con los recursos de agua y con las obras necesarias para ello, las actuales superficies regadas podrían expandirse, especialmente en los sectores de Santiago norte (aproximadamente 30 000 hectáreas) y Curacaví-Casablanca (unas 27 000 hectáreas). Cabe hacer notar que estos últimos están ubicados fuera de los límites de la cuenca superior del río Maipo.

Cuadro XIII-2

RIO MAIPO: DISMINUCION DE LA SUPERFICIE AGRICOLA  
EN LA CUENCA SUPERIOR POR CRECIMIENTO  
URBANO DEL GRAN SANTIAGO  
(Hectáreas)

| Sector              | Años de previsión |         |         |         |        |        |
|---------------------|-------------------|---------|---------|---------|--------|--------|
|                     | 1975              | 1980    | 1990    | 2000    | 2010   | 2025   |
| Riego alto          | 28 000            | 26 000  | 24 500  | 23 000  | 22 500 | 20 500 |
| Riego Mapocho medio | 25 500            | 25 000  | 24 000  | 23 000  | 21 500 | 20 000 |
| Riego bajo          | 56 000            | 55 500  | 54 500  | 54 000  | 53 000 | 52 000 |
| Totales             | 109 500           | 106 500 | 103 000 | 100 000 | 97 000 | 92 500 |

c) La hidroelectricidad

Las tres centrales generadoras de energía eléctrica existentes sobre el Maipo y sus afluentes, los ríos Volcán y Colorado, no constituyen problema para los demás usuarios de las aguas porque las aguas son devueltas al río antes del arranque de los primeros canales. En la primera sección del Maipo se explotan, además, otras diez pequeñas centrales que utilizan los caudales que conducen los canales de regadío. Estas centrales poseen una potencia total de 35 000 KW y permiten una generación media anual del orden de 225 millones de kWh, la cual se verá reducida en el futuro por la disminución en las dotaciones de riego a través de los canales.

#### d) *El uso industrial*

Sus fuentes de abastecimiento son las redes de agua potable, pozos propios de captación subterránea y, excepcionalmente, canales de regadío. Las demandas de este sector están incluidas parcialmente en las anteriores o bien se resuelven con recursos propios. Actualmente, el 30% de las industrias se abastece de la primera fuente mencionada, con un consumo de 0.72 m<sup>3</sup>/seg; el 69% lo hace de la segunda fuente con un consumo de 1.90 m<sup>3</sup>/seg y el 1% restante proviene de canales de regadío, cuyo consumo es de 0.30 m<sup>3</sup>/seg.

### 3. *Principales efectos sobre el medio ambiente*

#### a) *Calidad de las aguas según las distintas fuentes de abastecimiento*

Las aguas superficiales del río Maipo se caracterizan por su alto contenido de sólidos en suspensión; son esencialmente básicas, con valores normales de pH fluctuantes entre 7 y 8 y muy duras para ser utilizadas como agua potable, pues contienen un elevado contenido de sulfatos y cloruros (véase el gráfico XIII-1).

Las aguas superficiales del río Mapocho muestran, en su estado natural, condiciones más favorables que las del Maipo: menor contenido de sólidos disueltos y moderado contenido salino; además, son ligeramente básicas y su dureza total es moderada.

Al término de su curso superior es evidente la influencia de las descargas del alcantarillado e industrias en la calidad química general de las aguas, pues éstas bordean los límites de cobre y cromo hexavalente aceptables por la norma chilena,<sup>137</sup> pero sobrepasan notablemente los límites aceptables de fenoles y detergentes. En el curso cordillerano, que es el utilizado para las captaciones de agua potable, se presentan concentraciones excesivas de cobre y arsénico, que en algunas épocas de corta duración sobrepasan las normas vigentes (véase el cuadro XIII-3).

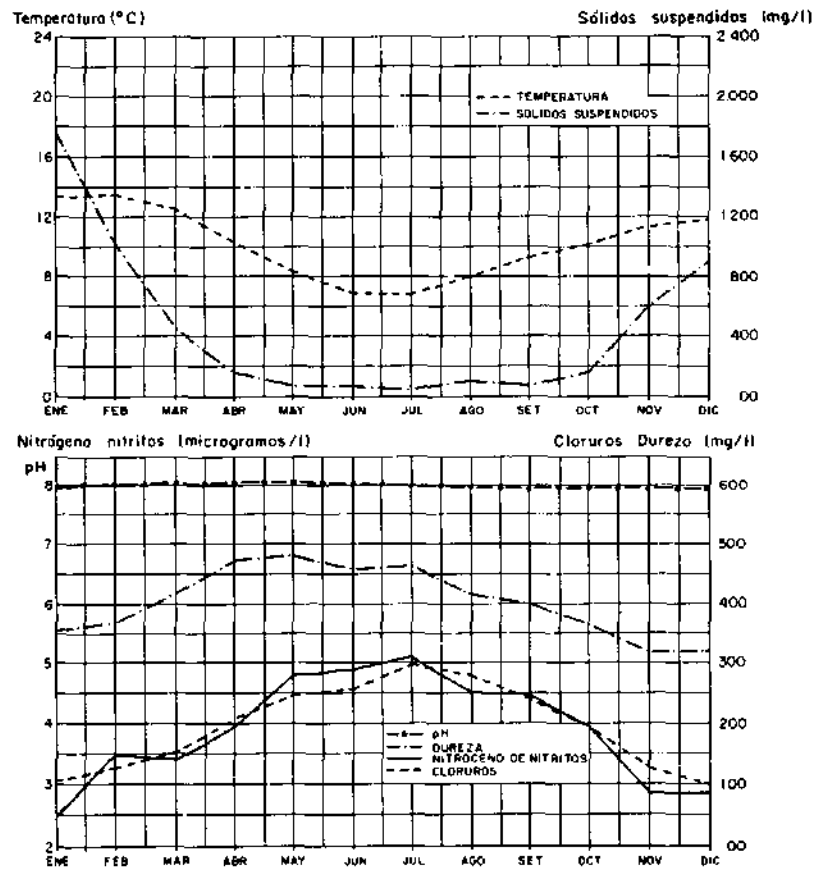
Las aguas subterráneas presentan en general muy buenas características físicas. En cuanto a sus características químicas, las napas cuya alimentación proviene de la zona norte de la hoya presentan baja dureza total, escaso contenido de residuos disueltos y predominio de los ácidos débiles sobre los ácidos fuertes.

Los acuíferos alimentados principalmente por los ríos Maipo y Mapocho presentan, por el contrario, durezas altas, alto contenido de residuos disueltos y predominio de los ácidos fuertes sobre los débiles. Las condi-

<sup>137</sup> Cobre máximo aceptable 1 mg/l; cromo hexavalente máximo aceptable y tolerable 0.05 mg/l.

Gráfico XIII-1

RIO MAIPO : VARIACION MENSUAL DE LA CALIDAD DE  
SUS AGUAS EN LAS VIZCACHAS



Cuadro XIII - 3

**RIO MAPOCHO: CONTROL RUTINARIO DE LA CALIDAD DE SUS AGUAS**  
(Promedios anuales en mg/l)

| Parámetro                      | A. Río Mapocho antes del estero del Arrayán |         |         | B. Canal San Carlos antes del río Mapocho |         |         | C. Río Mapocho en la Rinconada de Mapu |         |         |
|--------------------------------|---------------------------------------------|---------|---------|-------------------------------------------|---------|---------|----------------------------------------|---------|---------|
|                                | Máximo                                      | Mínimo  | Medio   | Máximo                                    | Mínimo  | Medio   | Máximo                                 | Mínimo  | Medio   |
| pH                             | 7.50                                        | 6.80    | 7.24    | 7.88                                      | 7.38    | 7.62    | 7.79                                   | 7.00    | 7.39    |
| Cond. específica (Micromho/cm) | 387                                         | 251     | 303     | 1 840                                     | 874     | 1 223   | 1 814                                  | 943     | 1 259   |
| SAR                            | 0.88                                        | 0.24    | 0.41    | 3.27                                      | 1.94    | 2.34    | 3.05                                   | 1.51    | 2.11    |
| g/o Sodio                      | 23                                          | 8       | 14.4    | 41                                        | 31      | 36      | 38                                     | 25      | 32      |
| Clasificación USSLS            | C2 - SI                                     | C2 - SI | C2 - SI | C3 - SI                                   | C3 - SI | C3 - SI | C3 - SI                                | C3 - SI | C3 - SI |
| Bicarbonatos                   | 67.7                                        | 19.5    | 48.1    | 152.8                                     | 114.1   | 127.4   | 280.7                                  | 145.2   | 180.4   |
| Carbonatos                     | 0.0                                         | 0.0     | 0.0     | 0.3                                       | 0.0     | 0.08    | 4.5                                    | 0.0     | 0.5     |
| Cloruros                       | 20.6                                        | 7.4     | 13.1    | 351                                       | 130.1   | 187.4   | 273.3                                  | 131.9   | 182.9   |
| Sulfatos                       | 157.5                                       | 54.3    | 97.2    | 528.3                                     | 159.5   | 286.1   | 296.8                                  | 193.1   | 247.6   |
| Calcio                         | 51.9                                        | 29.9    | 40.8    | 172.5                                     | 97.6    | 129.8   | 167.3                                  | 111.0   | 136.1   |
| Magnesio                       | 21.6                                        | 6.3     | 9.4     | 26.8                                      | 12.2    | 20.5    | 39.3                                   | 19.6    | 27.5    |
| Potasio                        | 1.96                                        | 0.78    | 1.46    | 5.47                                      | 2.35    | 3.73    | 8.2                                    | 4.3     | 6.3     |
| Sodio                          | 29.9                                        | 7.6     | 11.7    | 174.7                                     | 79.1    | 109.3   | 168.5                                  | 73.3    | 103.6   |
| Arsénico                       | 0.028                                       | 0.004   | 0.016   | —                                         | —       | —       | —                                      | —       | —       |
| Boro                           | 1.19                                        | 0.0     | 0.65    | 1.88                                      | 0.0     | 0.66    | 0.92                                   | 0.0     | 0.44    |
| Cobre                          | 3.94                                        | 0.0     | 0.93    | 0.05                                      | 0.0     | 0.012   | 0.37                                   | 0.0     | 0.07    |
| Nitratos                       | —                                           | —       | 1.05    | —                                         | —       | 4.88    | —                                      | —       | 11.7    |

Fuente: Dirección General de Aguas, Laboratorio Hidrológico, Santiago.

ciones sanitarias son en general buenas, habiéndose detectado últimamente, sin embargo, una contaminación por nitratos en algunos sectores (Conchalí), presumiblemente de origen orgánico y provocados por basurales, letrinas y riego con aguas servidas.

A pesar de que químicamente las aguas del Maipo no son las más adecuadas para su uso como agua potable, en el corto y el mediano plazo deberá seguir utilizándose, por lo cual es preciso instalar plantas de tratamiento que garanticen sus condiciones sanitarias. En cambio, por su bajo contenido de sodio y su salinidad variable de media a alta, las aguas del Maipo son aptas para el riego, en suelos con buen drenaje. Por su parte, el alto contenido de cobre y arsénico de las aguas del río Mapocho Alto es nocivo para la agricultura.

La preservación de la calidad de los recursos hídricos requiere que se tomen medidas tendientes a evitar la contaminación de las fuentes naturales, como ocurre en el caso del cobre y del arsénico en el río Mapocho. Debe exigirse a los usuarios que producen este tipo de contaminación, la ejecución de obras que garanticen la inocuidad de sus residuos. A su vez, de no tratarse las aguas servidas de la ciudad en el plazo relativamente corto, un cauce natural tan importante como el río Mapocho se podría transformar en un foco séptico peligroso para la vida humana, acuática y vegetal.

#### *b) El incremento de las extensiones de secano*

Si hacia el año 2025, no se han ejecutado obras que permitan aumentar la disponibilidad de los recursos de agua, la cuenca superior del río Maipo contará con unas 90 000 hectáreas áridas, correspondientes a las 30 000 hectáreas de secano actuales y a las 60 000 hectáreas que se transformarían de riego a secano por falta de agua.

#### *c) El saneamiento urbano de Santiago*

El rápido crecimiento de Santiago ha hecho que las nuevas áreas urbanizadas carezcan, en muchos casos, de adecuados sistemas de evacuación de las aguas servidas y, en la mayoría de ellos, de sistemas de evacuación de las aguas lluvias; esto último ha provocado las consiguientes inundaciones invernales, especialmente en los sectores oriente y sur de la ciudad.

Persisten aún en algunos sectores de la ciudad, felizmente escasos, sistemas individuales de letrinas y pozos negros a los que se atribuye la contaminación de las napas subterráneas por nitratos. Cabe destacar, por ejemplo, que si bien recientemente se han construido algunos colectores de alcantarillado que faltaban, los usuarios han demorado en conectarse a ellos.

La ciudad de Santiago cuenta en parte importante de su área con un sistema de alcantarillado unitario,<sup>138</sup> con capacidad suficiente para evacuar simultáneamente tanto las aguas servidas como las que provienen de las precipitaciones. Sin embargo, en unas 9 000 hectáreas del sector sur-poniente de la ciudad y en unas 1 500 hectáreas del sector norte de la misma se consultó un sistema de alcantarillado separado, construyéndose sólo la red correspondiente a la evacuación de las aguas servidas. Las aguas lluvias, además de producir inundaciones en estos sectores penetran en las alcantarillas de dicha red provocando desbordes en las cámaras de alcantarillado con los consiguientes problemas sanitarios. Se requiere un sistema que permita evacuar las aguas lluvias del sector sur-poniente, en el cual podría aprovecharse en parte la red de canales de regadío aún existentes, requiriéndose una obra de evacuación con una capacidad máxima total del orden de 70 m<sup>3</sup>/seg.<sup>139</sup> En el sector norte habría que construir un sistema de colectores que descargarían sus aguas al río Mapocho. El crecimiento de la ciudad hacia el oriente ha ido cerrando los cauces naturales de evacuación de las aguas lluvias que caen sobre los cordones de cerros que limitan la ciudad en esa dirección, produciéndose en las épocas de lluvia periódicas inundaciones en la parte alta de la ciudad. Para solucionar este problema sería necesario construir un canal interceptor entre los ríos Maipo y Mapocho que captara las aguas lluvias alrededor de la cota 850 metros sobre el nivel del mar.

Este canal que podría denominarse Canal Oriente, en parte de su recorrido cumpliría otras dos funciones: conducir aguas para el regadío de la nueva área de Santiago norte y llevar aguas crudas para una nueva planta de tratamiento de agua potable que podría situarse en el sector de Las Condes.<sup>140</sup>

#### d) La contaminación de los cauces naturales

En el río Mapocho, aguas abajo de la confluencia del Canal San Carlos, las condiciones sanitarias desmejoran notablemente debido a la descarga de aguas negras e industriales. Además de los efectos negativos derivados de la reutilización de estas aguas, la contaminación de los cauces afecta directamente a las poblaciones circundantes.

Dados los problemas actuales, es fácil comprender lo que sucedería en el futuro si se vaciaran caudales de aguas negras tres veces superiores en volumen a estos cauces receptores, con el agravante de que debido a la ejecución de las obras de regulación y la aplicación de medidas de racionalización del uso del agua, se reducirán en gran medida los caudales limpios

<sup>138</sup> Dirección de Obras Sanitarias, Ministerio de Obras Públicas, *Problemas del alcantarillado de Santiago*, 1957.

<sup>139</sup> Dirección General de Aguas/Ingeniería y Planificación, *Saneamiento urbano de Santiago, Diagnóstico general*, 1975.

<sup>140</sup> Dirección General de Aguas/Ingeniería y Planificación, *Planificación del uso de los recursos de agua en la cuenca de Santiago, Informe de factibilidad*, 1975.

de dilución de las aguas negras vaciadas a los cauces receptores, lo cual podría contribuir a aumentar considerablemente su contaminación.

e) *La reutilización de las aguas negras*

El Zanjón de la Aguada y el Mapocho, en su parte baja, recogen grandes volúmenes de aguas negras y residuos industriales. Ochenta por ciento de las aguas negras de la ciudad son recogidas por el Zanjón de la Aguada, cuya capacidad de conducción es de unos 100 m<sup>3</sup>/seg, aunque en épocas de estiaje —cuando lleva únicamente aguas servidas— su caudal medio es del orden de 4 a 6 m<sup>3</sup>/seg.

Las aguas contaminadas del curso inferior del Mapocho y del Zanjón de la Aguada permiten regar unas 16 000 hectáreas, de las cuales 6 200 son regadas exclusivamente por el Zanjón de la Aguada, en épocas en que su caudal es absolutamente séptico. Estas 6 200 hectáreas, situadas al poniente de la ciudad de Santiago, surten a la población de productos hortícolas que transportan agentes patógenos diversos: bacterias (*Salmonellas*, *Escherichia Coli*, *Shigellas*), virus (hepatitis A), protozoos parásitos (*Entameba histolítica*, *Giarda Lamblia*, etc.). Las evidencias epidemiológicas obtenidas en Santiago muestran altos niveles de infección producido por estos agentes patógenos, lo que indica que en el medio ambiente de la ciudad de Santiago la contaminación fecal es un problema de gran magnitud y, lo que es peor, se mantiene sin variación desde hace muchos años. Según estudios realizados en 1974 sobre muestras de la población<sup>141</sup> se determinó la presencia de anticuerpos en el 57.40/o de ella, lo que indicó que más de la mitad de la población había tenido infecciones previas derivadas de *Salmonellas*. Además un 29.60/o de la población estudiada había formado anticuerpos contra la tifoidea.

4. *Posibles soluciones a los problemas  
que plantea el aprovechamiento del  
agua en la cuenca*

Las soluciones a los diversos problemas que plantea el aprovechamiento del agua en la cuenca superior del río Maipo deberán encararse desde los puntos de vista sanitario, de preservación de los recursos, de aumento del aporte económico de la hoya a la producción nacional, especialmente la agrícola, y de aprovechamiento de las grandes obras hidráulicas con fines de recreación y esparcimiento, cuando ello sea posible. Es así como en las grandes regulaciones podrían establecerse niveles mínimos de operación que permitieran garantizar la permanencia de superficies de agua adecuadas para fines de recreación (pesca, deportes náuticos, etc.). Asimismo, los canales de interconexión entre las cuencas podrían ser un efectivo medio

<sup>141</sup> V. Prado y colaboradores, "Índices de infecciones por *Salmonellas* en población del área oriente de la ciudad de Santiago", *Revista médica Chile*, 102:683, 1974.

de penetración en áreas deshabitadas, de abundante vegetación natural, muy apropiadas para ser convertidas en zonas de esparcimiento. Deberían buscarse también soluciones similares para las otras obras hidráulicas del sistema.

La solución integral a estos variados y complejos problemas requerirá grandes obras, que podrán plantearse en muchos aspectos como soluciones de uso múltiple, con el consiguiente abaratamiento general de costos. El plazo de previsión con que se consulta el dimensionamiento de estas obras, dada su naturaleza, es de 50 años. Dentro de este plazo se comprende la terminación de los estudios y proyectos necesarios como asimismo, la ejecución de las obras, todo lo cual se estima puede realizarse dentro de los próximos 15 años.

Para resolver estos variados problemas y lograr alcanzar los fines previstos se han estudiado numerosas soluciones que permiten alcanzar parcial o totalmente todos los objetivos o diversas combinaciones de ellos.

a) *Soluciones técnicas.* (Véase el mapa XIII-1.) Una de las soluciones consiste en racionalizar el uso del agua de regadío, principalmente por medio de una mejor distribución de las aguas entre los regantes, regulaciones nocturnas locales a base de embalses adicionales, utilización de nuevas técnicas de regadío en los predios agrícolas, modificación de las estructuras de partición existentes para mejorar la distribución de las aguas por volúmenes, etc. Aunque indispensable, esta solución es insuficiente.

La segunda solución para aumentar la disponibilidad de recursos consiste en regular las aguas del río Maipo mediante un embalse lateral sobre el estero Clarillo. Este embalse recibiría sus aguas del río Maipo por un canal alimentador de unos 40 m<sup>3</sup>/seg y tendría una capacidad útil de 600 millones de m<sup>3</sup>.

Cabe hacer presente que para el año 2000 por ejemplo, las necesidades de agua potable deberán ser atendidas con recursos superficiales del río Maipo son del orden de 765 millones de m<sup>3</sup>/año. El regadío de terrenos mediante canales del río Maipo y de la nueva área de riego de Santiago norte requiere un volumen anual de agua de 1 870 millones de m<sup>3</sup>, con lo que las necesidades totales de agua de estos sectores alcanzarían a 2 635 millones de m<sup>3</sup>/año. Los recursos superficiales de los ríos Maipo y Mapocho en conjunto ascienden a 2 900 millones de m<sup>3</sup>/año, en años de características hidrológicas medias. Si bien aparentemente la disponibilidad de recursos de agua parece suficiente para satisfacer las necesidades previstas, ello no es así debido a que en estos ríos no es posible disponer de la totalidad del agua que se requiere en los momentos en que se la necesita. Se plantea así la posibilidad ya aludida de regular las aguas del río Maipo como solución a los déficit actuales y futuros de la cuenca.

Una tercera solución consiste en trasladar aguas desde la cuenca del río Cachapoal, situado inmediatamente al sur de la cuenca del Maipo. Una condición previa a este traspaso es la regulación de las aguas del río Cachapoal por medio del embalse de Collicura. Con una capacidad útil de 200 millones de m<sup>3</sup> permitiría, además, la instalación de una planta hi-

droeléctrica de 210 kw de potencia. Las aguas pasarían hacia el Maipo a través de un canal de  $35 \text{ m}^3/\text{seg}$  de capacidad y 117 km de longitud.

Las obras necesarias para satisfacer el consumo de agua potable del Gran Santiago requieren la construcción de nuevas captaciones y nuevas plantas de tratamiento con una capacidad total de  $21.5 \text{ m}^3/\text{seg}$ . Las aguas servidas de la ciudad requieren también que se instalen una o varias plantas de tratamiento primario y secundario, con una capacidad total de unos  $36 \text{ m}^3/\text{seg}$ .

Las soluciones antes señaladas se complementarían con las obras necesarias para regar 30 000 hectáreas en el área de Santiago norte y 27 000 hectáreas en el área de Curacaví-Casablanca, las que consistirían fundamentalmente en:

i) un canal de interconexión entre los ríos Maipo y Mapocho que continuaría hacia el norte, destinado a regar la nueva área de Santiago norte, en la que sería necesario disponer de un volumen de regulación de 100 millones de  $\text{m}^3$  en el embalse de Canta-Rana. El canal de interconexión Maipo-Mapocho o Canal Oriente cumpliría tres propósitos principales: conducción de las aguas de riego, aducción de las aguas crudas para las nuevas plantas de tratamiento necesarias para ampliar los servicios de agua potable del Gran Santiago, e intercepción de las aguas lluvias originadas por las precipitaciones que afectan a los cerros situados al oriente de la ciudad.

Este canal captaría aguas del río Maipo en la cota 871.5 metros de altitud y tendría una longitud total de alrededor de 125 km. Su capacidad sería de  $36.5 \text{ m}^3/\text{seg}$  en un primer tramo, hasta alimentar la primera planta de tratamiento de agua potable,  $50 \text{ m}^3/\text{seg}$  en el sector en que actúa como interceptor de las aguas lluvias y  $17 \text{ m}^3/\text{seg}$  en su tramo final hacia el norte para atender el nuevo sistema de regadío.<sup>142</sup> Su trazado tendría una altura mayor que la zona urbana del Gran Santiago para evitar interferencias con las zonas pobladas:

ii) un canal con trazado general de oriente a poniente con una longitud de unos 200 km que llevaría aguas desde el Maipo y el Mapocho para regar las áreas de Curacaví y Casablanca. Esta conducción requeriría una capacidad local de regulación del orden de 120 millones de  $\text{m}^3$ .

b) *Costos y beneficios.* Los costos estimativos correspondientes a las dos soluciones consideradas más favorables hasta el momento,<sup>143</sup> figuran en el cuadro XIII-4. Entre los beneficios directos de las obras consideradas se cuentan el abastecimiento de agua potable para la población, el aumento de la producción agrícola y el incremento de la energía eléctrica. Si bien los indicadores económicos representativos que se han calculado para

<sup>142</sup> Dirección General de Aguas, Ingeniería y Planificación, Canal Oriente *Anteproyecto preliminar*, 1975.

<sup>143</sup> La solución 1 consiste en regular el río Maipo en el embalse de Pirque; la solución 2 supone traspasar agua del río Cachapoal al río Maipo.

ambas alternativas (véase el cuadro XIII-5) muestran la bondad económica de los proyectos, son insuficientes para definir la superioridad de uno sobre el otro.

Cuadro XIII-4

CUENCA SUPERIOR DEL RIO MAIPO: COSTOS ESTIMATIVOS  
DE LAS OBRAS NECESARIAS PARA RESOLVER LOS PROBLEMAS  
DEL AGUA, JUNIO DE 1975  
(Millones de dólares)

| <i>Obras</i>                                            | <i>Solución 1</i> | <i>Solución 2</i> |
|---------------------------------------------------------|-------------------|-------------------|
| Embalse de Pirque                                       | 38.4              |                   |
| Canal Cachapoal-Maipo                                   | —                 | 23.0              |
| Embalse Collicura                                       | —                 | 15.9              |
| Desarrollo hidroeléctrico Collicura                     | —                 | 90.6              |
| Obras de agua potable                                   | 42.9              | 42.9              |
| Racionalización primera sección río Maipo               | 13.9              | 13.9              |
| Canal Oriente                                           | 27.2              | 27.2              |
| Embalse Santa-Rana                                      | 13.1              | 7.9               |
| Puesta en riego Santiago norte                          | 16.9              | 16.9              |
| Canal Santiago-Casablanca                               | 34.8              | 34.8              |
| Puesta en riego Curacaví-Casablanca                     | 15.0              | 15.0              |
| Planta de tratamiento de las aguas servidas de Santiago | 250.0             | 250.0             |
| <i>Total</i>                                            | <i>452.0</i>      | <i>538.1</i>      |

Cuadro XIII-5

CUENCA DEL RIO MAIPO: INDICADORES ECONOMICOS  
CALCULADOS PARA LAS DOS SOLUCIONES PROPUESTAS  
EN TORNO A LOS PROBLEMAS DE AGUA

| <i>Indicador económico</i>                 | <i>Primera opción</i> | <i>Segunda opción</i> |
|--------------------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Valor actual neto (millones de dólares)    | 49.3                  | 80.5                  |
| Razón beneficio-costos                     | 1.91                  | 2.0                   |
| Tasa interna de retorno (porcentaje)       | 24.75                 | 24.75                 |
| Período de recuperación del capital (años) | 4.5                   | 4.3                   |

## 5. La administración del agua

De acuerdo con el Código de Aguas, corresponde a la Dirección General de Aguas del Ministerio de Obras Públicas (MOP), el máximo control sobre el uso y manejo del agua en todas las cuencas hidrográficas del país.

Tanto la concesión de los derechos de aprovechamiento o "mercedes de agua" como el control de la restitución de las aguas empleadas por los usuarios a los cauces naturales o artificiales, están reglamentadas por el mencionado Código de Aguas.

En general, son los propios usuarios los que administran las aguas. Los usuarios de las aguas de riego se agrupan en asociaciones de canalistas o comunidades de aguas. La Comisión Nacional de Riego determina la política que debe seguirse en materia de contaminación, en tanto que los proyectos estatales caen bajo la tuición de la Dirección General de Riego del MOP. En el caso del agua potable del Gran Santiago, varias empresas proceden a su distribución entre los usuarios, siendo la más importante la Empresa de Agua Potable de Santiago, que incluye el servicio de agua potable de El Canelo y que actualmente abastece el 80% del consumo de agua potable de la zona.

Existen, además, otras empresas de carácter municipal, estatal y privado (Empresa de Agua Potable de Maipú, Direcciones de Obras Sanitarias (DOS) Norte, Sur y Oriente, y Empresa de Agua Potable Lo Castillo).

La Dirección General de Aguas ejerce supervigilancia general sobre los usuarios en lo que se refiere a planificar el uso de los recursos de agua; debe además compatibilizar los programas de obras de los distintos usuarios y velar porque los proyectos de las obras susceptibles de aprovechamiento múltiple consideren tales posibilidades. Con relación a la conservación del recurso, la Dirección General de Aguas y otros organismos, como algunos departamentos del Servicio Nacional de Salud, fijan las normas que deben cumplir los usuarios al utilizar y restituir las aguas a los cauces naturales o artificiales.

En los aspectos básicos, se estima adecuada la institucionalización existente sobre la planificación y el manejo de los recursos hídricos. Se presentan, sin embargo, algunos problemas que podrán ir resolviéndose en el futuro próximo y que se deben principalmente a la escasez de medios económicos, insuficiente personal especializado en los distintos niveles y falta de una adecuada coordinación entre los organismos que, con diferentes fines, deben controlar la calidad de los recursos y efluentes de agua. Parece conveniente, en consecuencia, crear en el futuro organismos regionales o por cuencas que tengan el manejo unificado de todas las fuentes de agua utilizadas en cada región y controlen el empleo, la restitución y la degradación del recurso.

## 6. Conclusiones y recomendaciones

En la cuenca superior del río Maipo existen problemas derivados de la cantidad y calidad de los recursos hídricos disponibles. Estos problemas se agravarán en el futuro, si no se ejecutan ciertas obras o se adoptan las medidas necesarias para resolverlos, en torno a todo lo cual se ha hecho una relación global en este informe. La Dirección General de Aguas del Ministerio de Obras Públicas de Chile, encargada de la planificación de los recursos hídricos del país, está efectuando los estudios generales que permitan una solución integral de los problemas existentes.

Además de los problemas provocados por la composición química de las aguas, especialmente para su uso como agua potable, existen otras formas de contaminación más graves y que son más urgentes de resolver. Una está constituida por la presencia en las aguas del río Mapocho de cobre y arsénico, provenientes de relaves de las explotaciones mineras que se ha resuelto mediante la exigencia oficial al usuario responsable de obras que permitan mejorar la calidad de sus residuos. Otra forma de contaminación la origina el vaciamiento de las aguas negras de la ciudad a los cursos cuyas aguas se utilizan posteriormente para regadío. La solución definitiva en este caso es la instalación de una planta de tratamiento para las aguas servidas, obra hasta ahora diferida a causa de su alto costo. Como medida transitoria para el corto plazo se ha propuesto el reemplazo de las aguas negras utilizadas para el regadío por aguas de mejor calidad del río Maipo, las que se obtendrían mediante una pronta aplicación de las primeras medidas de racionalización del uso del agua en la agricultura.

Deberá tomarse asimismo, mayores precauciones para controlar el cumplimiento de las estrictas disposiciones vigentes contenidas en el Código Sanitario chileno, referentes a la evacuación de los residuos industriales. Por otro lado, dado que la presencia de nitratos, detectada últimamente en algunos acuíferos, se debe seguramente a la existencia de basurales y pozos negros, es preciso estudiar la reubicación de éstos, la complementación de las redes de alcantarillado que falten, la conexión de los usuarios a ellas, la prevención periódica y sistemática de la contaminación y, en caso que ella aumente, el reemplazo de la fuente de abastecimiento de agua potable de las áreas norte y norponiente de Santiago por recursos superficiales del río Maipo.

La sola aplicación de un proceso de racionalización del uso y manejo de los recursos hídricos como el que se ha señalado no es, sin embargo, suficiente para resolver integralmente los problemas de escasez de agua que se presentan en la cuenca. Debe complementarse con obras que aumenten la disponibilidad de estos recursos, como son la regulación de las aguas del río Maipo y los trasposos de agua desde el río Cachapoal, previamente regulado.

Por último, los estudios sobre calidad de los recursos hídricos deben continuarse y profundizarse. Se requieren mayores investigaciones para

explorar la calidad de posibles fuentes de abastecimiento para el consumo de agua potable. Estos nuevos estudios deben extenderse a la vecina hoya del río Cachapoal, considerada como probable fuente de abastecimiento para la cuenca de Santiago en el futuro.

## BIBLIOGRAFIA

- Accatino, L., *et al.*, "Contaminación fecal de la ciudad de Santiago", anexo de la obra *Planificación del uso de los recursos del agua en la Cuenca de Santiago*, DGC/IPLA, Santiago, 1975.
- CORFO, *Aguas subterráneas Santiago Norte*, Santiago, 1975.
- CORFO, *Hidrogeología de la cuenca de Santiago*, Santiago (versión mimeografiada, 1970).
- CORFO, *Algunas características químicas de agua y suelos en el área de Santiago Norte*, Santiago (versión mimeografiada, 1975).
- DGA/IPLA, *Saneamiento urbano de Santiago: diagnóstico general*, Santiago (versión mimeografiada, 1975).
- DGA/IPLA, *Planificación del uso de los recursos de agua en la cuenca de Santiago: informe de factibilidad*, Santiago (versión mimeografiada, 1975).
- DGA/IPLA, *Estudio de racionalización: primera sección del Río Maipo, informe preliminar*, Santiago (versión mimeografiada, 1974).
- DGA/IPLA, *Hoya del río Maipo: análisis hídrico primera sección, Informe N° 2, Embalse Pirque*, Santiago (versión mimeografiada, 1974).
- DGA/IPLA, *Embalse Pirque: anteproyecto preliminar*, Santiago (versión mimeografiada, 1975).
- DGA/IPLA, *Hoya del río Maipo: análisis hídrico primera sección. Informe N° 3, Canal Cachapoal Maipo*, Santiago (versión mimeografiada, 1975).
- DGA/IPLA, *Canal Cachapoal Maipo: anteproyecto preliminar*, Santiago (versión mimeografiada, 1975).
- DGA/IPLA, *Abastecimiento de agua potable del Gran Santiago, Informe N° 3*, Santiago (versión mimeografiada, 1974).
- DGA/IPLA, *Canal Oriente: anteproyecto preliminar*, Santiago (versión mimeografiada, 1975).
- DGA/OPRU, *Abastecimiento de Agua Potable del Gran Santiago, informe preliminar*, Santiago (versión mimeografiada, 1972).
- Dirección de Obras Sanitarias, Ministerio de Obras Públicas, *Problemas del alcantarillado de Santiago*, Santiago (versión mimeografiada, 1968).
- Dirección de Riego, Ministerio de Obras Públicas, *Regulación Embalse El Yeso*, Santiago, 1962.
- Dirección de Riego, Ministerio de Obras Públicas, *Anteproyecto del regadío de Curacaví-Casablanca*, Santiago (versión mimeografiada, 1957).
- Espinoza, J., *Anteproyecto Collicura sobre el río Cachapoal: un aprovechamiento de uso múltiple*, tesis de título, Universidad de Chile, Santiago, 1972.
- Medina, E., "Morbilidad y mortalidad por enfermedades infecciosas", *Revista Médica Chile* 88: 397, 1970.
- Ministerio de Agricultura, *Pérdidas de terrenos agrícolas de riego por avance urbano de la provincia de Santiago 1956-1970*, Santiago (versión mimeografiada, 1974).
- Prado, V., *et al.*, "Índices de infecciones por salmonellas en población del área oriente de la ciudad de Santiago", *Revista Médica Chile* 102: 683, 1974.
- Reyes, S., *et al.*, "Enteroparasitosis en manipuladores de alimentos en hospitales", *Revista Médica Chile* 103: 477, 1975.

## Capítulo XIV

### PLANTEAMIENTOS ALTERNATIVOS PARA EL MANEJO DE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL GRAN SÃO PAULO, BRASIL<sup>144</sup>

Roberto Max Hermann

#### *Introducción*

El aprovechamiento futuro de los recursos naturales ha comenzado a orientarse bajo el concepto de planificación con objetivos múltiples, en el cual se procura combinar la eficiencia económica con la protección del medio ambiente.

La explotación de los recursos hídricos del área del Gran São Paulo refleja esta tendencia universal. Al comienzo, el sistema de recursos hídricos implantado tenía primordialmente un objetivo económico; la generación de energía eléctrica. Con el tiempo, los efectos colaterales del sistema que atentaban contra el medio ambiente, adquirieron tal magnitud, que obligaron a reformular fundamentalmente el manejo del agua y a incurrir en cuantiosas inversiones, a fin de alcanzar simultáneamente los objetivos múltiples y de protección del ambiente hídrico.

Las dificultades operacionales implícitas en la aplicación de esta estrategia de propósitos múltiples son considerables y se deben, en parte, al gran volumen de recursos financieros que demandan los objetivos relacionados con el medio ambiente en general, y con el ambiente hídrico en particular. En este último caso, dichos objetivos suelen expresarse en normas sobre calidad del agua que son magnitudes físicas cuyo cumplimiento

<sup>144</sup> Este capítulo es un resumen del estudio preparado para CEPAL/PNUMA por el autor como parte del proyecto ADEMA: *Recursos hídricos da área da Grande São Paulo: determinação dos padrões mínimos de qualidade d'água*, São Paulo, septiembre de 1976.

implica determinado tipo de uso para el recurso hídrico, por lo cual dichas normas tienen un profundo significado económico.

Las normas sobre calidad del agua deberían determinarse, en cada caso específico, sobre la base de un análisis de los diferentes sectores económicos y de la disponibilidad de recursos de capital. Este criterio tropieza con dificultades operacionales insuperables, por lo que el analista, en la imposibilidad de aplicarlo, debe ponderar los efectos económicos de dichas normas en el sector económico en que opera.

En el presente trabajo se propone una metodología para el análisis, la cual combina factores económicos y no económicos, con miras a definir normas de calidad del agua que representen el objetivo de protección del medio ambiente y que sean, al mismo tiempo, óptimas desde el punto de vista económico.

### *1. El sistema de recursos hídricos*

La región del Gran São Paulo, que incluye la capital del Estado, abarca una superficie aproximada de 7 951 km<sup>2</sup>. El área metropolitana de São Paulo, ha experimentado una impresionante evolución demográfica en las últimas décadas, pasando de 1 586 045 habitantes en 1940 a 8 137 401 en 1970, gracias al aporte del crecimiento vegetativo y de las migraciones internas. En el último decenio (1960-1970) sin embargo, se ha observado una desaceleración del incremento demográfico del municipio de São Paulo que podría corresponder a la saturación cada vez más acentuada de la sub-región central del Gran São Paulo, cuyos límites estarían siendo rebasados por el aumento de densidad de la población urbana. En este caso, las tasas de crecimiento cada vez mayores de los demás municipios del Gran São Paulo estarían en relación con la declinación de las tasas de crecimiento de la capital; esto significa que si se admite un crecimiento más o menos estable del todo, cuanto más saturado esté el centro, tanto más deberá crecer la periferia. Proyectada la evolución de la población del Gran São Paulo hasta fines del siglo, se estima que para entonces esta área albergará a cerca de 24 millones de personas.

#### *a) La configuración del sistema*

- En el gráfico XIV-1 se aprecia de modo esquemático la localización actual del área urbanizada del Gran São Paulo y de los principales componentes del sistema de recursos hídricos, no sólo de la cuenca del Alto Tiete (donde se sitúa el área metropolitana de São Paulo), sino también de las cuencas vecinas que serán integradas al sistema en virtud de algunos proyectos de reversión de los recursos hídricos.

Las primeras obras de explotación hidráulica en la región tenían dos propósitos: el abastecimiento urbano y la generación hidroenergética. Con relación al primero, cabe mencionar el sistema Cantareira, que data de



fin del siglo pasado y los sistemas Cotia y Río Claro, construidos en las primeras décadas de este siglo.

Por su parte, el sistema energético implantado actualmente en el área consta esencialmente de:

- la represa Edgar de Souza, ubicada en el río Tiete, cuyo objetivo es invertir el curso de dicho río;

- la represa Pirapora, también situada sobre el río Tiete, que tiene como finalidad reforzar el caudal que se va a desviar a la vertiente oceánica, aprovechando las aguas del río Juquerí;

- la estación de bombeo de Pirapora, que eleva las aguas del río Juquerí y las transfiere a la presa Edgar de Souza;

- la estación de Traição (situada en el río Pinheiros afluente del río Tiete), cuya finalidad es invertir la dirección de las aguas del río, a fin de crear las condiciones favorables para que las aguas de los ríos Tiete y Pinheiros sean llevadas a la vertiente marítima;

- el reservorio de Guarapiranga, construido sobre el mismo río con el fin de regularlo y crear así un caudal adicional para reforzar la generación energética en la vertiente marítima;

- la represa de Pedreira, que constituye el reservorio Billings, con una capacidad útil de 1 200 millones de m<sup>3</sup>, donde se concentran todas las aguas de la región —tanto las que se originan en su propia cuenca de drenaje como las que se obtienen artificialmente a través de los componentes descritos— y desde donde son llevadas a través de túneles y conductos tubulares por la vertiente marítima de la Serra do Mar para fines energéticos;

- la estación de elevación de Pedreira, ubicada al pie de la presa del mismo nombre, que alimenta al reservorio Billings con las aguas provenientes de los ríos Tiete y Pinheiros, y

- las plantas hidroenergéticas Cubatão I y II, alimentadas por el reservorio Billings, cuyas turbinas largan agua al río Cubatão el cual desemboca en el océano Atlántico a través del estuario de Santos.

La capacidad instalada de estas plantas hidroeléctricas es de 864 MW. La instalación de las obras hidroenergéticas se desarrolló entre 1930 y 1960.

Recientemente, y con el objeto de aumentar en forma sustancial el abastecimiento urbano, se está desarrollando el sistema Cantareira al norte del área metropolitana y fuera de la cuenca del alto Tiete. Dicho sistema, que cuenta con algunas obras ya en funcionamiento pleno se compone de:

- los reservorios sobre los ríos Jaguari y Jacaré y las obras de conexión de estos reservorios que en la práctica operan como un solo sistema;

- el reservorio sobre el río Cachoeira, que además de regular sus propias contribuciones, también funciona como un reservorio de paso para las aguas que provienen de los ríos Jacaré y Jaguari y las obras de conexión;

- el reservorio sobre el río Atibainha, que funciona en combinación con los anteriores y las obras de conexión;

-- el reservorio sobre el río Juquerí, que concentra las aguas previamente recolectadas además de regular sus propios caudales naturales;

-- la estación de tratamiento de Guaraú, con capacidad nominal de 33 m<sup>3</sup>/s.

Además de las obras importantes descritas anteriormente resta mencionar la represa de Ponte Nova, que opera en el río Tiete, cuyo propósito es controlar las inundaciones a lo largo de su curso, y la presa que se está construyendo con el mismo objetivo sobre el río Taiaçupeba.

Junto a estas obras existen otras que por ser de menor envergadura no se mencionan aquí. Cabe hacer notar que el sistema hídrico, se concibió inicialmente con un propósito estrictamente energético; de allí las características de sus principales componentes.

En los últimos años se están ejecutando obras importantes destinadas al abastecimiento urbano y a la prevención de las inundaciones.

#### b) *La oferta de bienes y servicios del sector hídrico*

La oferta de bienes y servicios derivada de las actividades hídricas en el área metropolitana de São Paulo puede examinarse en función de cada uno de los cuatro propósitos siguientes:

i) *El abastecimiento industrial y residencial.* Para cumplir con este propósito la oferta de agua puede esquematizarse desde el punto de vista geográfico, como se muestra en el gráfico XIV-1, en el cual se distinguen:

-- el sistema norte, que engloba el sistema Cantareira, y que es el de mayor importancia, ya que es el único capaz de proporcionar caudales superiores a 30 m<sup>3</sup>/s para el abastecimiento urbano;

-- el sistema del extremo oriente. Fuera del reservorio de Ponte Nova y otros menores los demás componentes de este sistema están aún en la etapa de planificación;

-- el sistema oriente, con cinco reservorios: tres en la cuenca del alto Tiete (Taiaçupeba, Jundiá y Biritiba) y dos en la vertiente marítima (Itapanhau e Itatinga). Estos últimos tendrán sus aguas revertidas hacia la cuenca del alto Tiete con el único fin de reforzar el abastecimiento urbano. Los tres primeros, de los cuales solamente el de Taiaçupeba está en construcción, servirán para el abastecimiento urbano y la prevención de las crecidas;

-- el sistema sudoriental, de importancia estratégica, presenta dos ventajas: la explotación de hasta 10 m<sup>3</sup>/s en uno de los brazos del reservorio Billings, con un costo de captación relativamente bajo, y la concentración de las aguas de los sistemas oriente y extremo oriente;

-- el sistema sudoeste, que comprende obras ya en explotación, como el reservorio de Guarapiranga y los dos grandes brazos del reservorio Billings, el Bororé y el Taquacetuba, que podrían potabilizarse, y que se completará en un futuro cercano con otros reservorios que se construirán en el río Juquiá.

En el cuadro XIV-1 figuran los caudales correspondientes a junio de 1975 y las potencias utilizables por sistemas y globalmente.

ii) *La generación energética.* La región sudoriental del Brasil, de la cual forma parte el área de São Paulo, está intercomunicada eléctricamente, constituyendo un solo sistema energético; esta circunstancia supone, naturalmente, una drástica disminución de la importancia relativa de las instalaciones generadoras actuales del área. Con el correr del tiempo, la oferta de energía generada mediante recursos hídricos del área metropolitana tiende a ser cada vez menos importante frente a la demanda de la misma área.

iii) *La prevención de la contaminación.* Actualmente sólo 350/o del área metropolitana posee redes de alcantarillado. En los que respecta al tratamiento de las aguas, de los 20 m<sup>3</sup>/s en que se estima la carga lanzada a los cursos de agua, sólo se trata aproximadamente 1.0 m<sup>3</sup>/s, lo que indica una acentuada degradación de los cursos de agua, cuyo estado es predominantemente anaeróbico. Se está iniciando un esfuerzo gigantesco para aumentar la oferta de este servicio.

iv) *El control de las inundaciones.* Ya en la época en que se implantó el sistema energético se consideró la necesidad de ofrecer al área metropolitana las condiciones adecuadas para poder eliminar por escurrimiento el exceso de agua superficial. Por lo tanto, las plantas elevadoras fueron sobredimensionadas con relación a los caudales estrictamente necesarios

Cuadro XIV-1

AREA METROPOLITANA DE SÃO PAULO: SISTEMAS  
PRODUCTORES DE AGUA, JUNIO DE 1975

| Localización      | Producción (m <sup>3</sup> /seg) |                     |
|-------------------|----------------------------------|---------------------|
|                   | Actual                           | Total potabilizable |
| Norte             | 3.3                              | 33.0                |
| Sudoeste          | 11.2                             | 38.0                |
| Sudoriente        | 2.1                              | 10.0                |
| Oriente           | -                                | 15.4                |
| Extremo oriente   | 2.3                              | 15.6                |
| Sistemas aislados | 2.1                              | 2.0                 |
| Totales           | 21.1                             | 114.0               |

Fuente: Consorcio Nacional de Ingenieros Consultores (CNEC), São Paulo.

para las finalidades energéticas. Además de esta precaución, los canales de los ríos Pinheiros y Tiete se someten continuamente a trabajos de dragado y desobstrucción, a fin de posibilitar mejores condiciones de escurrimiento a las crecidas. La represa de Ponte Nova está dedicada hoy exclusivamente al control de las inundaciones, y está terminándose la represa de Talaçupeba con igual propósito. También están en su fase final los estudios para reformular las condiciones de escurrimiento del canal del Tamanduateí.

*c) La demanda de bienes y servicios del sector hídrico*

Al igual que en el acápite anterior, la demanda actual y las perspectivas futuras se presentan separadamente para cada propósito indicado:

i) *El abastecimiento residencial e industrial.* En el gráfico XIV-2 se presenta la demanda de agua potable en la región metropolitana de São Paulo para el período 1976-2000.

Debe considerarse, además, la demanda de las industrias; el consumo industrial atendido por la red pública es pequeño, dado que los establecimientos fabriles recurren también a la captación de aguas subterráneas, al reciclaje interno y en los casos de mayor escasez, a una intensa racionalización del uso del agua. La demanda global, a fines del siglo, será del orden de 105 m<sup>3</sup>/s.

ii) *La generación energética.* La demanda de energía cada vez mayor en el área metropolitana será atendida, en su casi totalidad, por fuentes externas al área y por lo tanto, no se comprometerán los recursos hídricos regionales.

iii) *La prevención de la contaminación.* La demanda de servicios para cumplir este objetivo puede evaluarse, teóricamente, por la disposición a pagar que se advierte en la comunidad afectada por los efectos derivados de la ausencia de estos servicios. Este mecanismo es difícilmente cuantificable.

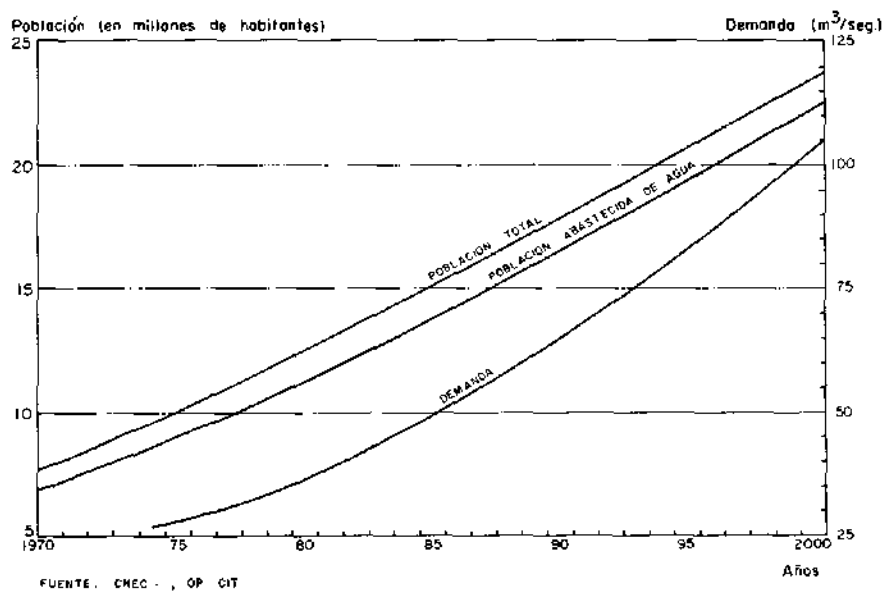
iv) *La prevención de las inundaciones.* También en este caso, la cuantificación de la demanda es muy difícil, siendo la disposición a pagar el medio más eficaz, a lo menos teóricamente, aunque en este caso, el carácter accidental del fenómeno constituye una complicación adicional.

*d) Balance entre la oferta y la demanda: prioridades en la atención*

Se ha estimado que en junio de 1976 existía una demanda reprimida con relación al abastecimiento urbano del orden de 8 a 9 m<sup>3</sup>/s. Con la aceleración de las obras del sistema Cantareira, esta demanda reprimida se atenderá en breve, quedando aún por resolver el problema formidable de lograr un aumento medio anual del caudal del orden de 3 a 4 m<sup>3</sup>/s. Globalmente, la disponibilidad de agua ya identificada garantiza la atención de las necesidades de agua potable hasta fines del siglo.

Gráfico XIV-2

SAO PAULO : PROYECCIONES DE POBLACION Y DE  
DEMANDA DE AGUA, 1970-2000



El aumento considerable de agua potable redundará inevitablemente en un crecimiento proporcional de las cargas contaminadoras. Este incremento será conducido al sistema de canales y reservorios construido con propósitos hidroenergéticos. Las condiciones ambientales permanentes actual del momento que no son ideales, de seguro empeorarán en forma persistente durante los próximos años.

Frente a esta situación, se están tomando providencias, a corto plazo, como la alteración de las reglas de operación de las plantas de Cubatão, que sólo atenderán la demanda de las horas de mayor consumo, con lo que requerirán volúmenes de agua considerablemente menores para generar hidroelectricidad. Con esta medida, se aliviarán las condiciones ambientales, debido a que disminuye la descarga de efluentes en el área metropolitana, al aumentar el caudal descargado en la presa Edgardo de Souza, aunque se agravan sensiblemente las del valle de Tiete, cuya menor densidad demográfica atenúa los efectos de este deterioro. Esta es tan sólo una medida de emergencia y no constituye la solución definitiva del problema. En el largo plazo, sólo se alcanzarán condiciones satisfactorias, en los cursos de agua regionales cuando se construya el sistema de eliminación final de las aguas servidas.

## *2. Los efectos sobre el medio ambiente del sistema de recursos hídricos*

### *a) Efectos ambientales permanentes*

Estos efectos se hacen sentir en los aspectos estético, recreativo y de salud pública. Los efectos estéticos son los más notorios y conocidos por la población, pero su evaluación es sumamente difícil teniendo en cuenta la escasa disposición de la comunidad a pagar por el saneamiento de las aguas. Por otro lado, es innegable el valor económico que significa ofrecer adecuadas oportunidades de recreación en áreas tan densamente pobladas.

También es innegable que el sector hídrico ofrece una gama variada de actividades recreativas y que actualmente no se utilizan con estos fines los canales que atraviesan la zona estudiada. De los reservorios, el único que aún se aprovecha bastante es el de Guarapiranga.

El aspecto referente a la salud pública es, sin duda, el de mayor impacto potencial para la vida comunitaria del Gran São Paulo. En el caso que nos interesa, es necesario llevar a cabo una evaluación (que debe hacerse en términos probabilísticos) de la relación existente entre la calidad del agua en tránsito y la tasa de morbilidad respecto de ciertas enfermedades que eventualmente puedan degenerar en epidemias.

Otros efectos ambientales atañen a la necesidad de efectuar continuos trabajos de dragado para mantener las secciones de escurrimiento del sistema a fin de compatibilizarlas con los caudales que por ellas circulan, y a las consecuencias accidentales provocadas por las inundaciones que afectan de manera intermitente ciertos sectores de la región metropolitana.

### *b) El análisis de sistemas como metodología de la planificación*

El análisis de sistemas (o análisis sistémico) constituye una metodología especialmente apropiada para planificar soluciones de problemas que tienen

un grado de complejidad similar al control de la calidad del agua en la región metropolitana de São Paulo. Su aplicación puede llevarse a efecto en cinco etapas, que están encadenadas lógicamente:

- i) definición de objetivos;
- ii) formulación de medidas que reflejen efectivamente los objetivos antes definidos;
- iii) identificación de soluciones optativas (estructurales y no estructurales) para el problema de que se trate;
- iv) evaluación de las soluciones optativas frente a las medidas indicadas en b), y
- v) selección de la solución óptima.

En la discusión siguiente sólo se tendrá en cuenta el propósito relativo a la prevención de la contaminación. Esta simplificación se adopta a fin de llegar a proponer una investigación orientada a *definir objetivos relacionados exclusivamente con los aspectos de la calidad del agua*. La aplicación del análisis de sistemas al problema propuesto puede enunciarse del siguiente modo: determinar la solución que permita atender al costo mínimo en términos de valor actual, normas de calidad del agua socialmente adecuadas, en los diferentes cuerpos de agua de la región.

Para que una solución de costo mínimo sea operacional, es preciso indicar las soluciones estructurales que se han tenido en cuenta y proponer una metodología que permita obtener las normas deseables. Las dos soluciones principales se describen en el acápite siguiente, y el diseño de un modelo matemático para definir las normas se presenta en el subsiguiente. El objetivo metodológico de este trabajo es justamente proporcionar dicho modelo matemático. No se pretende desarrollar la aplicación de las cinco etapas antes mencionadas al problema estudiado, sino simplemente sugerir un esquema de trabajo destinado a definir convenientemente los objetivos correspondientes a la primera de tales etapas.

#### *c) Las principales soluciones estructurales consideradas*

Los diversos planes propuestos para preservar las condiciones ambientales en el sector donde están situados los recursos hídricos se pueden sintetizar en dos grupos: el sistema Billings y el sistema Pirapora.

El sistema Billings (véanse los cuadros XIV-2 y XIV-3) comprende varios planes optativos que tienen por objeto eliminar totalmente las aguas servidas del área metropolitana. Dichos planes tienen los siguientes aspectos en común.

- Consideran la zona urbanizada dividida en dos sectores: uno interno y otro externo;
- Consultan la intercepción de las aguas servidas a lo largo de los ríos para ambos sectores;
- Propician la conducción de las aguas servidas del sector interno a través de estaciones de bombeo de alta carga y emisarios que atraviesan áreas densamente urbanizadas, hasta un lugar próximo al reservorio Bill-

Cuadro XIV-2

EL SISTEMA BILLINGS: CARACTERISTICAS DE  
LOS EMISARIOS DE ALTA CARGA

| <i>Solución</i> | <i>Diámetro medio<br/>de los conduc-<br/>tos tubulares<br/>(km)</i> | <i>Extensión total<br/>de los conductos<br/>tubulares<br/>(km)</i> | <i>Diámetro medio<br/>de los túneles<br/>(km)</i> | <i>Extensión total<br/>de los túneles<br/>(km)</i> |
|-----------------|---------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Plan 4          |                                                                     |                                                                    |                                                   |                                                    |
| Hazen y Sawyer  | 2.77                                                                | 105.20                                                             | 3.77                                              | 12.60                                              |

Fuente: Hazen y Sawyer, *Relatório sobre disposição de esgotos*, julio de 1967.

Cuadro XIV-3

SISTEMA BILLINGS: CARACTERISTICAS PRINCIPALES DE LAS  
PLANTAS ELEVADORAS DE ALTA CARGA

| <i>Solución</i> | <i>Emisario</i> | <i>Plantas elevadoras<br/>de alta carga</i> | <i>Capacidad<br/>final<br/>(m<sup>3</sup>/s)</i> |
|-----------------|-----------------|---------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| Plan 4          | Poniente        | Leopoldina                                  | 25.50                                            |
|                 |                 | Pinheiros                                   | 9.60                                             |
|                 |                 | Santo Amaro                                 | 12.10                                            |
| Hazen y Sawyer  | Oriente         | Tatuapé                                     | 42.50                                            |
|                 |                 | S. Caetano                                  | 35.50                                            |

Fuente: Hazen y Sawyer, *Relatório sobre disposição de esgotos*, julio de 1967.

ings, en donde se prevé la construcción de una estación de tratamiento primario de gran tamaño;

— Proponen que el afluente de esa estación sea lanzado, entonces, al reservorio Billings que funcionaría como laguna de estabilización para su estabilización final;

— Consultan la construcción de tres estaciones de tratamiento secundario para atender el sector externo;

— Sugieren que el lodo digerido que se origina en las estaciones sea desviado hacia lagunas secundarias de digestión en el Alto da Serra, permaneciendo allí por un período de tres meses, al cabo del cual debe descar-

garse sierra abajo, por canalización, para ser lanzado al mar o eliminado en zonas arenosas.

El sistema Pirapora es una solución integrada que considera, del mismo modo que el anterior, al área urbana dividida en dos sectores:

- en el sector interno, las aguas servidas son interceptadas a lo largo de los ríos y son concentradas en un punto cercano a la confluencia de los ríos Tiete y Pinheiros, para ser luego llevadas por un túnel hasta tierras estériles y prácticamente desérticas en donde son tratadas en una combinación de estaciones primarias o secundarias y lagunas de estabilización de gran tamaño;
- las zonas externas son atendidas por medio de soluciones locales, descargándose los afluentes de las estaciones de tratamiento en los cursos de agua de la región;
- los afluentes de los diversos procesos de tratamiento son enviados al reservorio Billings utilizándose el Sistema Light ya existente;
- los lodos son digeridos en las principales lagunas o conducidos a locales apropiados para su tratamiento final.

La aplicación de la metodología propuesta para comparar estas soluciones estructurales exige que se definan los objetivos que desean alcanzarse, los cuales deben ser expresados en magnitudes físicas fácilmente comparables con las características de los cuerpos de agua regionales, luego de la implantación del sistema que se está analizando. Es necesario que esos objetivos, que se reflejan en las normas de calidad que deben imponerse, guarden relación con los usos que esos mismos cuerpos de agua vayan a tener a lo largo del proceso de planificación.

*d) Un programa de investigación destinado a establecer objetivos*

Cinco puntos merecen destacarse cuando se trata de determinar de manera racional los objetivos que deben alcanzar los programas de control de la calidad del agua en la zona metropolitana de São Paulo:

— Dada la complejidad del problema analizado, es conveniente construir un modelo matemático que tenga en cuenta todas las interrelaciones de las variables presentes.

— El único indicador de la calidad del agua considerado hasta ahora es la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), y si bien pueden incorporarse otros indicadores al modelo, ello depende de las informaciones relacionadas con las mediciones efectuadas en diferentes puntos de la zona en estudio y, también, de la disponibilidad de resultados teóricos y empíricos relativos a la dependencia de esos indicadores respecto de otras variables de interés.

— Dentro del proceso de planificación, este modelo es prioritario ya que servirá de base a otros modelos de planificación y operación. Por esta razón, se han considerado válidas algunas simplificaciones. Solamente una vez construido y aplicado el modelo podrá formularse un juicio definitivo sobre las hipótesis simplificadoras aludidas.

– El modelo es dinámico en el sentido de que se analizarán simultáneamente varios intervalos de tiempo. Es forzoso incorporar la variable tiempo en esta escala, debido al crecimiento previsto de la población de la zona, el cual aumenta el volumen de los residuos que se descargarán en los diferentes cursos de agua, así como la presión sobre los lugares de recreación del Gran São Paulo.

– El modelo comprende el reservorio Billings y el sistema de canales de la zona metropolitana. La exclusión del gran reservorio de Guarapiranga se justifica por la calidad de sus aguas, que han hecho posible a lo largo del tiempo, realizar actividades recreativas adecuadas, y por las medidas tomadas para proteger dicho reservorio a fin de garantizar el abastecimiento urbano. En cambio, el reservorio Billings es hoy día prácticamente inservible, desde el punto de vista recreativo debido a sus problemas estéticos y sanitarios. En cuanto al sistema de canales, se parte de la hipótesis de que sólo causan problemas estéticos y sanitarios, siendo improbable su reutilización para fines recreativos.

*i) Explicación de los símbolos utilizados en las ecuaciones de condición*

- $Q_t$  – Carga total de DBO en el año  $t$ , en la entrada del reservorio Billings;
- $N_t$  – eficiencia del tratamiento en el año  $t$ ;
- $C(N_t)$  – costo asociado a la obtención de la eficiencia  $N_t$ ;
- $(1 - N_t) Q_t$  – carga efectiva de DBO en el año  $t$ , en la entrada del reservorio Billings;
- $DBO_t^j$  – DBO medio del segmento  $j$  del reservorio Billings en el año  $t$ ;
- $DBO_t^k$  – DBO correspondiente al punto  $k$  (en el sistema de canales) en el año  $t$ ;
- $DBO_E^k$  – norma tentativa de calidad en el punto  $k$ , teniendo en cuenta solamente los efectos de carácter estético;
- $DBO_{SP}^k$  – norma tentativa de calidad en el punto  $k$ , teniendo en cuenta solamente los efectos para la salud pública;
- $DBO_R^j$  – norma tentativa de calidad en el punto  $j$ , teniendo en cuenta solamente los efectos para la recreación.
- $VP( \dots )$  – valor presente de la magnitud entre paréntesis;
- $P( \dots )$  – probabilidad de ocurrencia del evento entre paréntesis;
- $E( \dots )$  – valor esperado de la variable estocástica entre paréntesis.

ii) *Ecuaciones de condición.* Al establecer las ecuaciones se debe tener presente lo siguiente:

— La variable que indica la calidad del agua se tratará como si fuese estocástica; esta decisión permite dejar al criterio del planificador la determinación de la probabilidad de ocurrencia de ciertos eventos. El modelo de programación lineal resultante puede resolverse fácilmente y se designa comúnmente como modelo de restricciones probabilísticas.

— La variable de estado, en el reservorio Billings, se relaciona estadísticamente con la carga contaminadora efectiva que se bombea hacia él; en símbolos se expresa como sigue:

$$E(DBO_t^j) = f_{1j} \left\{ (1 - N_t) Q_t \right\} \quad (1)$$

donde además de los símbolos ya definidos,  $f_{1j}$  representa la función de transferencia estadística antes mencionada. Hermann<sup>145</sup> efectuó una serie de análisis estadísticos utilizando la técnica de regresiones múltiples del reservorio en cuestión, obteniendo coeficientes de correlación múltiple con alto grado de significación, lo que garantiza la posibilidad de establecer las funciones  $f_{1j}$ .

— Análogamente y utilizándose el mismo instrumental estadístico antes mencionado es posible escribir:

$$E(DBO_t^k) = f_{2k} \left\{ (1 - N_t) Q_t \right\} \quad (2)$$

Donde  $f_{2k}$  son las funciones de transferencia entre un punto genérico del sistema de canales y la carga efectiva en la entrada del reservorio Billings.

— El establecimiento de normas tentativas para atender los efectos estéticos y de salud pública debe ir precedido de análisis minuciosos, y constituyen un segundo tema de investigación que deberá desarrollarse para dar continuidad al trabajo iniciado.

Para establecer estas normas tentativas es preciso realizar una evaluación socioeconómica del efecto estético correspondiente como también una cuantificación entre el estado del recurso hídrico y de su repercusión en las enfermedades originadas por el agua. Cabe mencionar el estudio de Lave y Leskin,<sup>146</sup> que trata del problema análogo aplicado a la polución del aire.

<sup>145</sup> R.M. Hermann, *Análisis estadísticas visando caracterizar o estado ecológico do Reservatório Billings*, memorando interno, SABESP, 1975.

<sup>146</sup> L.B. Lave y E.P. Leskin, "Air pollution and human health", *Science*, vol. 169, Nº 3947, agosto de 1970.

y que podrá usarse como posible enfoque metodológico.

Después de estas consideraciones se presentan las ecuaciones de condición en la siguiente forma:

$$P(DBO_t^k \leq DBO_E^k) \geq \mathcal{L}_E \quad 0 \leq \mathcal{L}_E \leq 1 \quad (3)$$

Este grupo de ecuaciones (una para cada sitio de interés en el sistema de canales y para cada año considerado) establece en términos probabilísticos que el indicador debe ser menor que la norma con probabilidad mayor o igual a  $\mathcal{L}_E$ , número que queda al criterio del planificador. Si se supone para  $DBO_t^k$  una distribución normal, la ecuación 3 puede reescribirse en la forma de:<sup>147</sup>

$$DBO_E^k \geq E(DBO_t^k) + K_{1-\mathcal{L}_E} \sigma_{DBO^k} \quad (3')$$

en que además de los símbolos ya definidos se tiene:

$K_{1-\mathcal{L}_E}$  — fracción de la función de distribución normal correspondiente al nivel de riesgo  $1 - \mathcal{L}_E$

$\sigma_{DBO^k}$  — desviación estándar de la norma histórica de la variable estocástica DBO en el sitio k, que se supone constante con el tiempo;

El segundo grupo de ecuaciones, en todo análogo al primero, se relaciona con los efectos relativos a la salud pública y se escribe:

$$P(DBO_t^k \leq DBO_{SP}^k) \geq \mathcal{L}_{SP} \quad (4)$$

El tercer grupo de ecuaciones de condición garantiza en el reservorio Billings condiciones sanitarias adecuadas para su utilización como medio de recreación; su estructura matemática es semejante a la de los grupos anteriores y en símbolos puede escribirse como sigue:

$$P(DBO_t^j \leq DBO_R^j) \geq \mathcal{L}_R \quad (5)$$

<sup>147</sup> F.S. Hillier y G.J. Lieberman, *Introduction to Operations Research*, Holden Day, 1967.

Finalmente, es necesario unir las dos funciones anteriormente definidas (ecuaciones 1 y 2) que representan las ecuaciones que relacionan las diferentes variables en juego.

iii) *La función-objetivo.* La función-objetivo refleja un criterio de eficiencia económica y se escribe:

$$\text{Min VP} \left\{ \sum_t C(N_t) \right\}$$

Conviene destacar que la función de costo se mantuvo constante a lo largo del tiempo, implicando el uso del mismo nivel de tecnología en el proceso de tratamiento. Esta hipótesis no es esencial al modelo, pudiendo establecerse —en caso de que exista información suficientemente consistente— varias funciones de costo que reflejen tecnologías más eficientes.

iv) *Consideraciones generales.* El modelo antes descrito proporciona como variables de decisión los valores de  $DBO_E^k$ ,  $DBO_{Sp}^k$ ,  $DBO_R^k$  y  $N_t$  que minimizan la función-objetivo. Además, mediante el análisis de sensibilidad se puede juzgar la capacidad de adecuación de los diferentes valores a los parámetros adoptados, con lo cual se proporciona también un marco teórico para las investigaciones relacionadas con los diferentes aspectos del problema. Conviene destacar en especial, la posibilidad de verificar el aumento de costo derivado de la mayor confiabilidad impuesta a las ecuaciones de condición al variarse el parámetro  $K_1 \cdot L$ .

### 3. Conclusiones

Uno de los aspectos más importantes que deben tenerse en cuenta al planificar en forma racional el sector hídrico es el establecimiento de objetivos para prevenir la contaminación del agua. Esos objetivos se traducen en el cumplimiento de normas de calidad del agua, las cuales deben fijarse de manera armónica con la realidad económica vigente, ya que estos índices si bien se expresan en unidades puramente físicas tienen importantes implicaciones económicas.

La determinación de esos índices suele basarse en gran medida, en factores que pasan por alto esta dependencia. McGauhey<sup>148</sup> ha hecho un análisis profundo de este aspecto demostrando la inadecuación de las bases sobre las cuales se fijan normalmente esos índices. La legislación vigente en el Estado del São Paulo, en general, y en el área de su capital no constituye una excepción a la regla.

<sup>148</sup> P.H. McGauhey, *Engineering Management of Water Quality*, McGraw Hill, 1968.

## BIBLIOGRAFIA

- Convenio HIBRACE, *Desenvolvimento global dos recursos hídricos das bacias do alto Tiete e Cubatao*, São Paulo, 1968.
- GREELEY y HANSEN, *Relatório sobre o tratamento e destino de esgotos e resíduos industriais*, São Paulo, 1953.
- HAZEN Y SAWYER, Inc., *Relatório sobre disposição de esgotos*, São Paulo, julio de 1967.
- R. M. HERMANN, *Análises estatísticas visando caracterizar o estado ecológico do reservatório Billings*, memorando interno, SABESP, São Paulo, 1975.
- RAMEH, C.A.S. y HERMANN R.M., *Demanda d'água pela indústria*, trabajo presentado en el VIII Congreso de Ingeniería Sanitaria, Río de Janeiro, 1975.
- SABESP/GEGRAN, *Plano diretor de esgotos da Grande São Paulo, Solução Integrada*, SABESP, São Paulo, 1974.



## Capítulo XV

### DESARROLLO REGIONAL Y TRASTORNOS AMBIENTALES EN EL VALLE DEL ACONCAGUA – CHILE

#### *Introducción*

El Aconcagua es un río relativamente pequeño que cruza una región semiárida, con un régimen de caudales no controlado, muy variable. Sus aguas se utilizan en forma intensiva para el riego y son a la vez fuente de abastecimiento municipal e industrial y receptoras de desechos.

Hasta ahora, el manejo del río se ha limitado a controlar su caudal. Se ha hecho hincapié en la distribución del agua de riego entre las diferentes partes del valle y en la conciliación de posibles conflictos entre ese uso y el abastecimiento de agua potable a la zona metropolitana de Valparaíso, ciudad costera situada fuera del valle.

No puede afirmarse, por ahora, que haya un conflicto vital entre el uso del agua en el valle y la calidad ambiental. El valle posee características similares a la mayoría de los de la región central de Chile y muestra los mismos resultados derivados de la intensificación paulatina de las actividades del hombre durante los cuatro últimos siglos: desforestación y consiguiente erosión acelerada de los cerros, modificación completa de la cubierta vegetal, alteración de las características de drenaje originales, etc. Se ha alcanzado cierta estabilidad, aunque es posible perfeccionar el uso de la tierra y el manejo del agua. No obstante, si se mira hacia el futuro, la situación no es tranquilizadora, ya que hay algunas situaciones potencialmente conflictivas que surgen de las exigencias que se le plantean a un recurso muy limitado.

Las fuentes más importantes de conflicto futuro emanarían de tres tendencias que se advierten en la ocupación del valle por el hombre. En primer lugar, hay una inclinación general a intensificar la producción mediante la agricultura de riego, sobre todo la expansión de la producción de cultivos permanentes, como duraznos y uvas de mesa. En segundo término,

todos los gobiernos en los últimos años han adoptado la estrategia de fomentar el crecimiento industrial y urbano, no sólo a lo largo de la costa sino también en las ciudades del valle, junto con aumentar la producción minera y ampliar la explotación de todos los recursos no agrícolas. Por último, el río es la fuente principal de abastecimiento de agua de toda la región, que además del valle incluye la costa, el valle La Ligua-Petorca hacia el norte y la zona de Chacabuco del valle del Maipo hacia el sur.

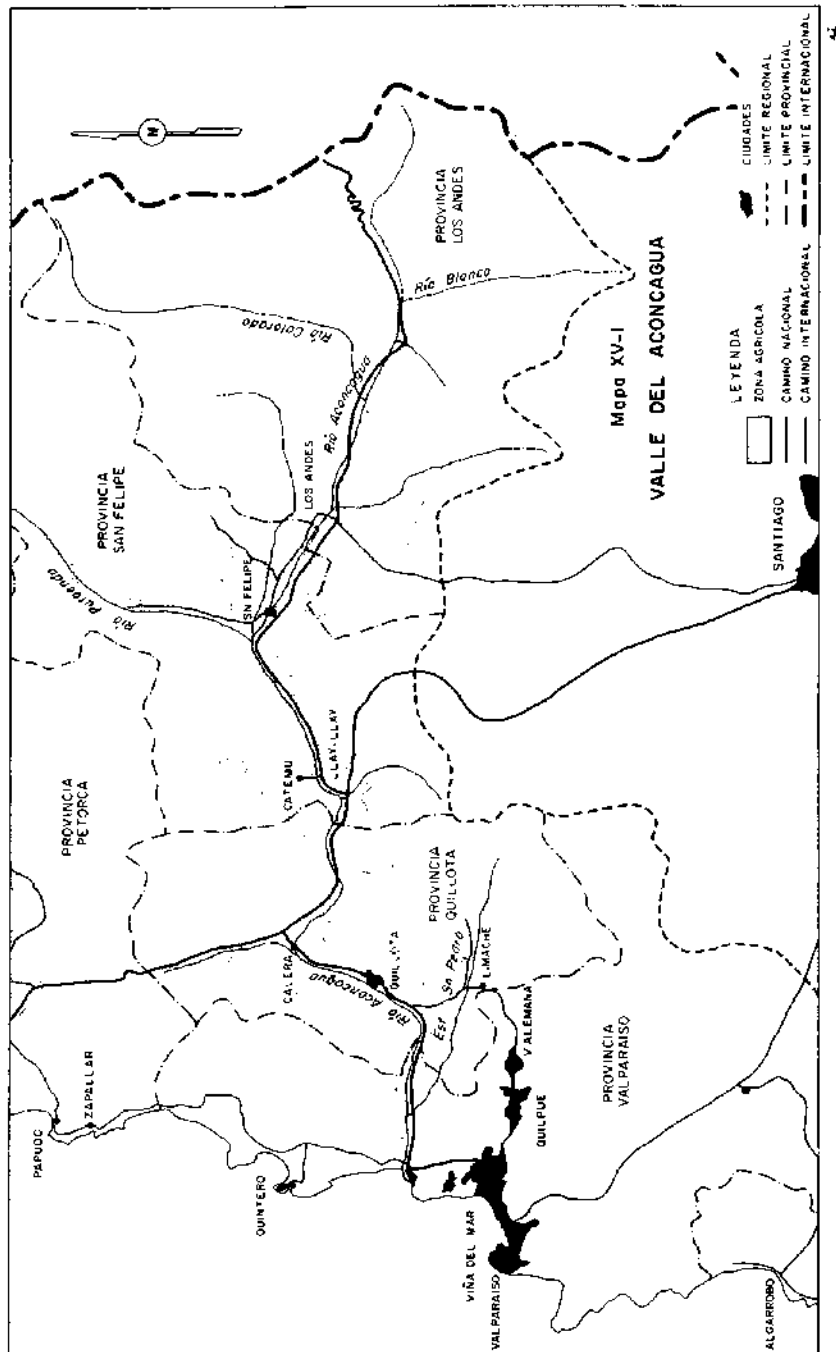
El presente trabajo procura describir el valle del Aconcagua desde el punto de vista de los problemas funcionales, en contraposición a las cuestiones concretas que se plantean para el manejo de los recursos hídricos y conexos. Se destaca el papel que desempeña el valle en la estructura regional de Chile y la índole de las políticas y programas vigentes para la administración del desarrollo regional. Además en el estudio se señala el tipo de relación existente entre el uso del agua y la calidad ambiental y en qué sentido cambia dicha relación y se describe el sistema del manejo existente en todos los niveles (central, regional y local), se evalúa la capacidad de dicho sistema para enfrentar problemas de calidad ambiental, y por último se examina la forma de considerar los aspectos de calidad ambiental del uso y manejo del agua, tanto en términos de modificación institucional como de nuevas investigaciones.

### *1. El medio ambiente*

La hoya del río Aconcagua, ubicada entre los 32°15' y 33°11' latitud sur, nace en la Cordillera de los Andes la que alcanza en esta zona grandes altitudes como el Nevado del Juncal de 6 140 metros. La cuenca, con una superficie estimada de 712 000 hectáreas, está encerrada en estribaciones cordilleranas que corren de oriente a poniente. El río cruza la Cordillera de la Costa, que se encumbra por encima de los 2 000 metros, y después de un recorrido de 190 kms desemboca entre las terrazas litorales bastante desarrolladas con tres o cuatro niveles de aterrazamiento (véase el mapa XV-1).

El río Aconcagua atraviesa de este a oeste tres zonas climáticas: clima frío de altura en el este, clima mediterráneo en la zona central y clima marítimo en la costa. La vegetación varía desde erial andino en plena cordillera, matorral subandino en los faldeos y en la costa y estepa espino-sa en el sector central.

El valle está muy próximo a la zona metropolitana de Santiago y a la región de Valparaíso-Viña del Mar, que en conjunto representan una población del orden de los 4.5 millones de habitantes. Su cercanía con el principal puerto del país, Valparaíso, y su conexión caminera y ferroviaria con Argentina y el Atlántico facilitan las exportaciones agrícolas y mineras, las importaciones y el intercambio turístico.



a) *El clima*

El clima del valle del Aconcagua es de tipo mediterráneo; los veranos son secos, cálidos y bien definidos, y los inviernos lluviosos.

VALLE DEL RIO ACONCAGUA:  
ESTADISTICAS CLIMATOLOGICAS

El régimen pluviométrico no es favorable a la agricultura intensiva o de alta rentabilidad; las lluvias se presentan en la época más fría y están ausentes en el período crítico de crecimiento y maduración de las plantas, por lo que el déficit de agua debe suplirse mediante riego artificial. En la cordillera la lluvia es abundante y se producen frecuentes nevazones. La temperatura media es mayor en la zona de Los Andes y se va haciendo menor en dirección al mar. (Véase el cuadro XV-1.)

Cuadro XV-1

VALLE DEL RIO ACONCAGUA: ESTADISTICAS  
CLIMATOLOGICAS

|            | Temperaturas medias |                           |                           | Lluvias             |
|------------|---------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------|
|            | Media anual         | Máxima anual <sup>a</sup> | Mínima anual <sup>b</sup> | Promedio anual (mm) |
| Juncal     | 9.3                 | 16.2                      | 3.9                       |                     |
| Los Andes  | 15.5                | 24.7                      | 7.4                       | 308.4               |
| Llay-Llay  | 14.4                | 24.2                      | 7.4                       | 320.9               |
| Quillota   | 14.3                | 22.1                      | 8.3                       | 431.7               |
| Valparaíso |                     |                           |                           | 453.2               |

Fuente: Dirección Meteorológica de Chile.

<sup>a</sup> Promedio de las temperaturas máximas diarias.

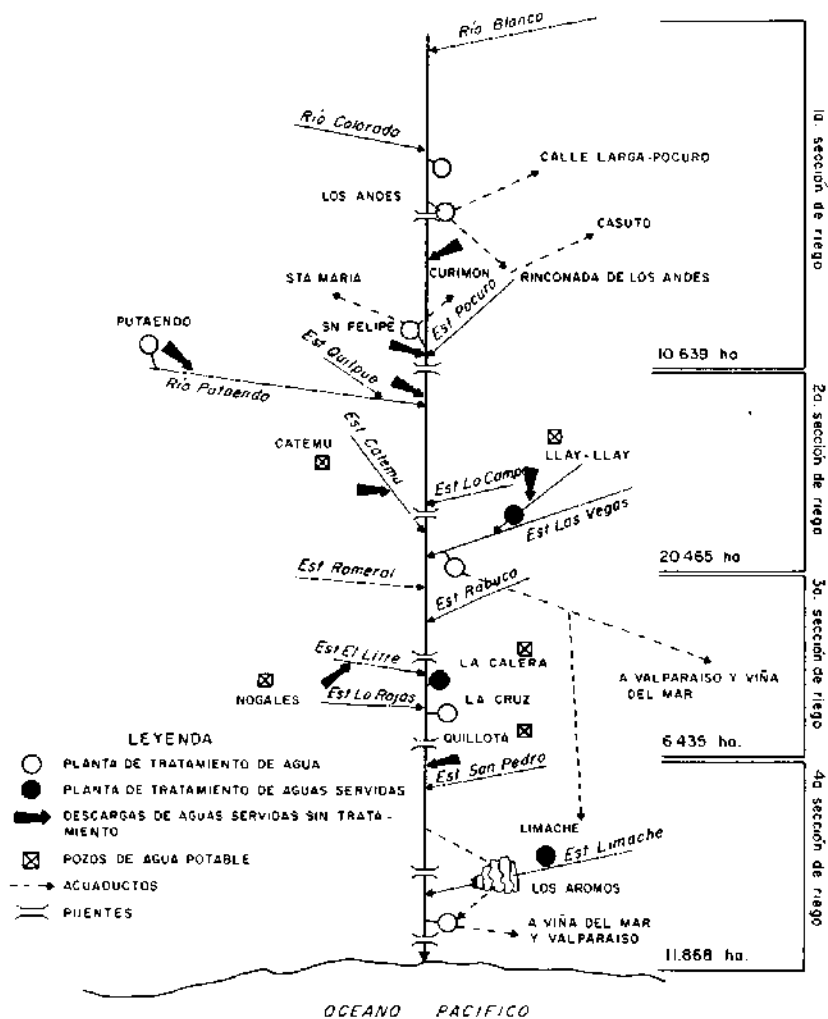
<sup>b</sup> Promedio de las temperaturas mínimas diarias.

b) *El agua*

El río Aconcagua nace en la alta cordillera con el nombre de río Juncal; en su recorrido recibe los aportes de otros ríos de régimen microglacial, el Blanco por el sur, y el Colorado y el Putaendo por el norte. Otros afluentes son los esteros Catemu, Romeral, El Litre, Lo Rojas, Lo Campo, Las Vegas, Los Loros, Rabuco, San Pedro y Limache, todos de carácter pluvial, y los esteros Quilpué y Pocuro, de régimen micropluvial. (Véanse el gráfico XV-1, y el cuadro XV-2.)

Gráfico XV-1

RIO ACONCAGUA: PRINCIPALES USOS DE AGUA



RIO ACONCAGUA: CAUDALES MEDIOS ANUALES  
(m<sup>3</sup>/seg)

|                           | Frecuencia acumulada<br>de los caudales |       |       |       |       |
|---------------------------|-----------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
|                           | 950/o                                   | 900/o | 500/o | 200/o | 100/o |
| Aconcagua en Chacabucuito | 53.0                                    | 37.0  | 28.5  | 22.2  | 16.2  |
| Putendo en Los Patos      | 19.0                                    | 13.0  | 7.8   | 5.3   | 2.2   |
| Aconcagua en San Felipe   | 30.0                                    | 10.5  | 14.0  | 8.6   | 1.4   |
| Aconcagua en Romeral      | 85.0                                    | 48.5  | 32.0  | 21.4  | 7.4   |

Fuente: J.A. Poblete, *et al.*, *Proyecto Aconcagua. Análisis de alternativas de uso óptimo de los recursos agua y tierra en el valle del río Aconcagua-Chile*, CEPLA-DEA-IREN, Santiago, 1976.

Las aguas del río Aconcagua se emplean preferentemente para el regadío, además de servir para el suministro de agua potable, como fuente de energía eléctrica, para uso industrial y descarga y transporte de efluentes domésticos e industriales.

El sistema de regadío está compuesto por numerosos canales cuya estructura es antigua e inorgánica.<sup>149</sup> En algunos casos las pérdidas estimadas llegan a un 300/o y los costos de mantención son altos. Los derrames de las aguas utilizadas se infiltran directamente en el terreno o se vierten al lecho del río a través de la red de drenaje existente. La reutilización de las aguas es bastante significativa, 350/o en 1970.<sup>150</sup> (Véase el gráfico XV-2.)

Aparte de los recursos de agua superficiales, el riego cuenta con recursos adicionales provenientes de bombeos de acuíferos subterráneos que podrían describirse como escurrimiento de las aguas subterráneas del valle.

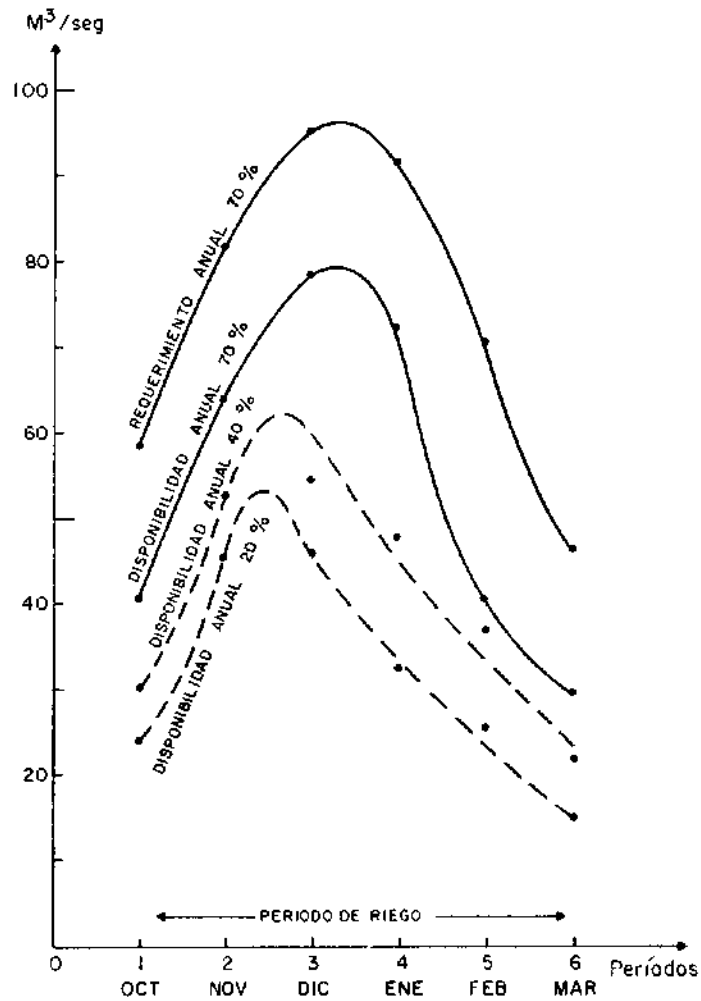
En el relleno sedimentario de la subcuenca de Los Andes-San Felipe se encuentra el acuífero más importante el que junto a las infiltraciones del lecho del río, contribuye a que en la zona de Llay-Llay se originen aflora-

<sup>149</sup> El sistema de canales ha sufrido muy pocas modificaciones desde el año 1872. Desde entonces los cambios más importantes han sido la construcción, en 1933 por parte del Estado, del canal Chacabuco, destinado a regar la zona de Chacabuco-Polpaico en el valle del Río Maipo, y el canal Manco, en 1935, a través del cual se trae agua a la zona costera.

<sup>150</sup> J. A. Poblete, *et al.*

Gráfico XV-2

REQUERIMIENTOS Y DISPONIBILIDADES GLOBALES  
DE RECURSOS HIDRICOS DEL VALLE DEL RIO  
ACONCAGUA PARA ALGUNAS SITUACIONES HIDROLOGICAS



FUENTE : POBLETE Y OTROS, OP CIT.

ciones importantes que se incorporan al sistema como escurrimientos superficiales. Las recuperaciones de aguas subterráneas dependen en forma significativa de la eficiencia del riego; la eficiencia actual se estimó que variaba entre un 38 y un 450/o en las diferentes zonas agrícolas del valle, siendo más alta en la parte baja de la cuenca.

Las necesidades de agua para el consumo urbano en el valle se pueden estimar por las dimensiones de la infraestructura de agua potable y alcantarillado de los centros urbanos del valle. (Véase el cuadro XV-3.) Como puede apreciarse en algunos de los centros poblados los sistemas de dotación de agua potable y eliminación de aguas servidas son insuficientes y en muchos lugares simplemente no existen.

Las aguas de los canales requieren ser tratadas, al respecto se presentan problemas sanitarios en las localidades de La Calera y Artificio, donde parte de las aguas no cumplen con normas adecuadas de calidad pues provienen de fuentes demasiado superficiales. Varias ciudades como San Felipe, Llay-Llay, Hijuelas, Quillota y parte de Los Andes<sup>151</sup> y La Calera se abastecen de aguas subterráneas, y Limache a través del acueducto de Las Vegas.<sup>152</sup> Sólo en ciudades de La Calera, Limache y Llay-Llay se tratan parte de las aguas servidas; en el resto de las ciudades éstas se descargan directamente a los cursos de agua.<sup>153</sup>

A la demanda del agua potable en el valle se debe agregar la de la zona metropolitana de Valparaíso-Viña del Mar. El abastecimiento de las dos unidades proviene de la captación subterránea de Las Vegas (0.5 m<sup>3</sup>/seg en verano y 0.3 el resto del año) y del sistema de Concón (1 m<sup>3</sup>/seg constante).

Al entrar en competencia el uso agrícola con el uso urbano industrial del agua, éste constituye un factor en toda la cuenca, por lo que un mejoramiento de la tecnología de riego puede significar un aumento importante de la productividad del recurso.

El mejoramiento requiere que los recursos hidráulicos sean manejados en forma integrada, a fin de que pueda reasignarse parte del agua de la zona alta del valle --donde se ha utilizado sin mayores restricciones-- hacia las zonas bajas en las cuales el recurso suele escasear.

<sup>151</sup> El resto del agua potable de Los Andes proviene del acueducto Rieillos, recientemente puesto en funcionamiento.

<sup>152</sup> Información proporcionada por el ingeniero civil señor Vitorio Curotto, Jefe de la Sección Norte, Depto. de Estudios, SENDOS.

<sup>153</sup> En la Calera se decantan los lodos, pero no se ejecuta la biofiltración de las aguas servidas. En Llay-Llay se trata en forma completa sólo un tercio aproximadamente de las aguas. En Limache sólo se tratan las aguas servidas de San Francisco de Limache, pero no las de Limache mismo, ni las provenientes de la Compañía de Cervecerías Unidas, que equivalen a una población de 40 000 habitantes. Información proporcionada por el ingeniero civil Sr. Vitorio Curotto.

## CUENCA DEL ACONCAGUA: INFRAESTRUCTURA DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO

| <i>Lugar</i>                                                                       | <i>Habitantes urbanos<br/>1970</i> | <i>Habitantes abastecidos<br/>1975</i> |                       |
|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------|
|                                                                                    |                                    | <i>Agua potable</i>                    | <i>Alcantarillado</i> |
| Pocuro                                                                             | 871                                | a                                      | —                     |
| Villa Saladillo                                                                    | 2 781                              | a                                      | —                     |
| Río Blanco                                                                         | 1 087                              | a                                      | —                     |
| Los Andes <sup>b</sup> (Calle Larga;<br>Rinconada)                                 | 24 952                             | 25 487                                 | 20 242                |
| San Esteban                                                                        | 2 139                              | 1 509                                  | —                     |
| San Rafael                                                                         | 842                                | a                                      | —                     |
| San Felipe <sup>b</sup> (Las Cadenas;<br>Santa María; Curimón;<br>Tierras Blancas) | 29 062                             | 31 676                                 | 24 000                |
| Rinconada Silva                                                                    | 712                                | a                                      | —                     |
| Putacundo                                                                          | 4 685                              | 4 650                                  | —                     |
| Panquehue                                                                          | 713                                | a                                      | —                     |
| Llay-Llay                                                                          | 9 744                              | 6 673                                  | 6 020                 |
| Chagres                                                                            | 1 113                              | a                                      | —                     |
| Catemu                                                                             | 1 799                              | a                                      | —                     |
| Lo Narváez                                                                         | 1 299                              | a                                      | —                     |
| El Granizo                                                                         | 1 055                              | a                                      | —                     |
| Olmué                                                                              | 2 983                              | a                                      | —                     |
| Limache                                                                            | 17 343                             | 15 830                                 | 8 673                 |
| San Pedro                                                                          | 1 620                              | 1 262                                  | 532                   |
| San Isidro                                                                         | 788                                | 1 220                                  | —                     |
| Quillota-La Cruz                                                                   | 41 632                             | 36 279                                 | 33 131                |
| Boco                                                                               | 1 892                              | a                                      | —                     |
| Hijuelas                                                                           | 8 000                              | 3 650                                  | —                     |
| Petorquita                                                                         | 626                                | a                                      | —                     |
| La Calera-Artificio                                                                | 28 593                             | 20 206                                 | 9 884                 |
| Nogales                                                                            | 3 311                              | 3 798                                  | 4 043                 |
| El Melón                                                                           | 5 252                              | —                                      | —                     |
| El Cobre                                                                           | 970                                | —                                      | —                     |

*Fuentes:* Departamento de Estadística y Control, Ministerio de Obras Públicas, Chile; Instituto Nacional de Estadísticas (INE). XIV Censo de Población, 1970.

<sup>a</sup> Lugar sin servicios de agua potable de la Dirección de Obras Sanitarias.

<sup>b</sup> Los lugares cuyos nombres figuran entre paréntesis son abastecidos con agua potable de Los Andes y San Felipe, respectivamente.

c) *Los suelos*

En las planicies los suelos se han originado a partir de la acumulación en cuencas y fondos de valle de sedimentos provenientes de la montaña, especialmente de los Andes.

Los suelos potencialmente regables alcanzan a una superficie de 82 000 hectáreas, (véase el cuadro XV-4), en tanto que la superficie cultivable total en el valle se estima en alrededor de 100 000 hectáreas y no parece económicamente factible aumentarla dada la configuración geomorfológica.

d) *Los ecosistemas naturales*

Las comunidades naturales terrestres reflejan con bastante claridad las condiciones edáficas, climáticas y de disponibilidad de agua de los diferentes hábitat de la cuenca. Las comunidades que habitan el valle han sufrido profundas modificaciones y sólo han sobrevivido las especies que se han adaptado a las transformaciones del hábitat o cuyo ambiente natural original se ha mantenido con menores alteraciones. En los esteros y lagunas de la hoya es posible encontrar una gran variedad de aves, algunos mamíferos pequeños, moluscos, peces autóctonos y no autóctonos y muchos invertebrados inferiores.

Una gran extensión de la zona del valle que corresponde a una degradación del bosque esclerófilo por acción antrópica, se encuentra cubierta de arbustos esteparios, entre los que domina ampliamente el espino. Entre la escasa masa arbórea destacan el quillay, el maitén y el peumo. La capa herbácea está compuesta, entre otras, por numerosas gramíneas, muy apetecidas por los herbívoros domésticos.

Cuadro XV - 4

SUPERFICIE REGABLE SEGUN LA CAPACIDAD DE USO DEL SUELO

| <i>Capacidad de uso<br/>del suelo</i> | <i>Hectáreas</i> | <i>Porcentajes</i> |
|---------------------------------------|------------------|--------------------|
| Riego óptimo (I)                      | 23 954           | 29.1               |
| Riego bueno (II)                      | 26 344           | 31.9               |
| Riego satisfactorio (III)             | 19 577           | 23.7               |
| Riego limitado (IV)                   | 12 619           | 15.3               |
| <i>Total de la cuenca</i>             | <i>82 494</i>    | <i>100.0</i>       |

Fuente: IREN, *Capacidad de uso de la tierra*, 1973.

En algunos sectores del valle, especialmente en las quebradas donde existen vertientes y riego natural, hay bosques ricos en especies vegetales esclerófilas y varios otros arbustos y hierbas. En los sectores de la precordillera, que tienen una altura no superior a los 2 000 metros, abundan los arbustos espinosos, y junto a las especies animales señaladas se destaca una mayor densidad relativa de aves de rapiña.

Entre los 2 000 y 4 000 metros, donde hay nieve durante parte del año, se desarrollan pequeños arbustos, coirones y hierbas de corto ciclo vegetativo. Aquí se refugian algunos de los animales más apetecidos para la caza, como el puma, el guanaco, el huemúl, la chinchilla y la vizcacha y ciertas aves como el cóndor y la perdiz cordillerana.

## *2. La ocupación humana*

La influencia cultural que ejercieron los diaguitas, pueblo indígena de agricultores y cazadores, hizo que se desarrollara en el valle una agricultura de riego; en efecto, se ha comprobado allí la existencia de numerosos canales que conducían las aguas hasta las tierras de cultivo, en las que se cosechaban varias clases de maíz, poroto pallar, papas, zapallo, calabazas, quinoa y ají. La invasión incásica, producida poco antes de la llegada de los españoles, no modificó sustancialmente los sistemas de riego.

Durante la Colonia, se mejoró y aumentó el regadío, lo que permitió contar con una mayor superficie cultivada. A ese período corresponde la fundación de las principales ciudades del valle: Quillota (1717), San Felipe (1740), y Los Andes (1791). Otros centros menores como Putaendo, se consolidan en pleno siglo XIX (1831).

A fines de 1975, se estimaba la población del valle en casi trescientos mil habitantes. En 1970, aproximadamente un 700/o de éstos vivía en localidades urbanas. Durante el último siglo la cuenca ha sido una importante fuente de migración.

En el mismo período, la distribución de la población en el valle ha cambiado. En la zona agrícola de San Felipe - Los Andes ésta ha decrecido en términos relativos mientras que en la zona urbanoindustrial de Quillota ha aumentado. (Véase el cuadro XV-5.)

En términos de uso del agua es necesario agregar a la población que vive en el valle, la de la zona costera, que depende del agua potable que proviene del río Aconcagua. En 1975 se estimaba en 574 000 habitantes la población de la zona metropolitana de Valparaíso-Viña del Mar, el segundo centro de concentración demográfica del país.

### *a) Las actividades productivas*

La agricultura constituye la principal actividad productiva. "El producto geográfico bruto del valle del Aconcagua se estimó para 1975 en unos

Cuadro XV - 5

## EVOLUCION DE LA POBLACION DEL VALLE ACONCAGUA

| Años | Total   | Porcentajes<br>del país | PROVINCIAS            |                                      |                 |                                      |                 |                                      |
|------|---------|-------------------------|-----------------------|--------------------------------------|-----------------|--------------------------------------|-----------------|--------------------------------------|
|      |         |                         | Quillota <sup>a</sup> |                                      | San Felipe      |                                      | Los Andes       |                                      |
|      |         |                         | Habi-<br>tantes       | Porcentaje<br>población<br>del valle | Habi-<br>tantes | Porcentaje<br>población<br>del valle | Habi-<br>tantes | Porcentaje<br>población<br>del valle |
| 1875 | 130 410 | 6.3                     | 43 423                | 33.3                                 | 56 186          | 43.1                                 | 30 801          | 23.6                                 |
| 1895 | 119 227 | 4.4                     | 44 992                | 37.7                                 | 47 429          | 39.8                                 | 26 806          | 22.5                                 |
| 1920 | 125 731 | 3.4                     | 53 487                | 42.5                                 | 43 136          | 34.3                                 | 29 108          | 23.2                                 |
| 1940 | 159 514 | 3.2                     | 75 462                | 47.3                                 | 49 305          | 30.9                                 | 34 747          | 21.8                                 |
| 1960 | 217 575 | 3.0                     | 115 828               | 53.2                                 | 59 375          | 27.3                                 | 42 372          | 19.5                                 |
| 1975 | 298 866 | 2.9                     | 162 140               | 54.2                                 | 77 588          | 26.0                                 | 59 138          | 19.8                                 |

Fuentes: 1875-1960, Censos nacionales.

1975, Chile, INE., *Anuario estadístico*, 1976 (estimaciones).<sup>a</sup> No incluye la comuna de Puchuncaví.

60 millones de dólares, de los cuales el 80% habría provenido del subsector agrícola. Estimaciones para el año agrícola 1974-1975 indican que se cultivaron alrededor de unas 71 500 hectáreas de las cuales un 18% corresponde a hortalizas, otro 18% a frutales y 64% a cultivos de rotación.<sup>154</sup> En términos comparativos con los niveles medios del país, la agricultura del Aconcagua presenta un alto grado de desarrollo, debido principalmente a las buenas condiciones del clima y de los suelos, a su cercanía de los grandes mercados de consumo interno y a la favorable acogida externa de sus productos, especialmente frutas y hortalizas. Un porcentaje importante y creciente de los suelos cultivados está dedicado a cultivos intensivos, lo cual tiende a modificar la estructura de la producción agraria de la cuenca.

Comparada con el cultivo de la tierra la ganadería es de poca monta en el valle. En las rotaciones de cultivos de ciertas zonas se siembran pastos, pero éstos tienden a perder importancia a medida que se intensifica el uso de la tierra. Sin embargo, ha sido tradicional que el ganado lechero forme parte de la estructura agropecuaria. La introducción más reciente de la crianza intensiva de aves de corral y de cerdos no ha logrado competir con las frutas y hortalizas. En los cerros y en las márgenes secas del valle abundan los caprinos, que influyen bastante en la degradación de la vegetación y los suelos.

Las actividades mineras están dominadas por la Compañía Minera Andina, con una capacidad instalada de 230 000 toneladas métricas anuales de cobre en la planta de concentrados, a la que le sigue El Cobre, con 48 000 toneladas y la fundición de Chagres cuya producción alcanza a 24 340 toneladas métricas anuales de mineral proveniente de la mina Disputada de Las Condes. La industria no metálica más importante es la fábrica de cemento ubicada en La Calera que tiene una capacidad de producción de 1 500 000 sacos mensuales.

Las industrias de mayor producción en el valle son las que fabrican productos metálicos, maquinaria y equipo; productos alimenticios, bebidas y tabaco; textiles, prendas de vestir y productos de cuero.<sup>155</sup> Los establecimientos agroindustriales más importantes son las fábricas de conservas de frutas y legumbres, molinos, plantas lecheras, empaquetadoras, frigoríficos y mataderos de ganado.

Entre 1960 y 1970 las actividades industriales crecieron con rapidez a una tasa muy superior al promedio nacional, situación que con mucha probabilidad continuará.<sup>156</sup> Las políticas gubernamentales vigentes procu-

<sup>154</sup> J. A. Poblete, *op. cit.*

<sup>155</sup> Véase un detalle mayor del tipo de las industrias ubicadas en la cuenca y su producción en 1970, en Enrique S. Vallejos *Estudio de la contaminación del río Aconcagua*, IREN, 1971.

<sup>156</sup> La tasa media de aumento de la producción industrial fue 9,7% (considerando la antigua provincia de Aconcagua como representativa del valle), comparada con un promedio nacional de 5,2%, según ODEPLAN. *La estrategia nacional de desarrollo regional, años 1975-1990*, versión original corregida.

ran fomentar la expansión de la industria basada en la agricultura, sobre todo con miras a la exportación.

b) *Los efectos en el ambiente físico*

La actividad humana en el valle ha provocado una serie de cambios en los componentes fundamentales del medio físico (aire, suelo y agua), en el ambiente biológico natural y en la organización del espacio. Sólo en los últimos años se han realizado estudios del ambiente físico orientados a medir y a corregir las condiciones de deterioro y contaminación.

Algunas partes de la cuenca, como San Felipe y Los Andes presentan características geográficas y climáticas, que las hacen especialmente aptas para la contaminación atmosférica dada que la acción de los vientos impiden una adecuada dispersión. Afortunadamente en la actualidad las fuentes de contaminación son pocas, las principales fuentes de contaminación del aire son:

i) Por efecto del viento, la refinería de Concón ubicada en la boca del río lanza al valle vapores compuestos de orgánicos sulfurados, que aunque no provocan daños a la salud, por su olor penetrante y desagradable se perciben en una extensión de aproximadamente 1 900 hectáreas.

ii) La industria de cemento El Melón, provoca la polución que afecta a la ciudad de La Calera y sus alrededores, contaminando la atmósfera y depositando una capa de silicatos en casas y cultivos. La instalación de precipitadores electrostáticos ha reducido la emanación de polvo.<sup>157</sup>

iii) La fundición de cobre de la Compañía Minera Disputada de Las Condes, en Chagres, originaba la contaminación del aire por efecto del anhídrido sulfuroso. Con la puesta en marcha en 1972 de la Planta de Ácido Sulfúrico se recupera gran parte del anhídrido sulfuroso (75%) y sus concentraciones actuales no exceden los rangos establecidos por el Servicio Nacional de Salud,<sup>158</sup> si bien afectan a la agricultura de la zona de influencia.

En menor escala, algunas de las industrias y las quemaduras de basura en las zonas urbanas constituyen fuentes de contaminación local.

La erosión es uno de los factores que más contribuye al deterioro del suelo del valle. Especialmente en las áreas de la Cordillera de la Costa se realizan cultivos en pendientes inadecuadas que a muy corto plazo destruyen la capa vegetal del terreno y producen grietas en la corteza, haciendo irreparable el suelo para la producción agrícola. Es más, en las márgenes secas del valle el pastoreo de cabras destruye la vegetación contribuyendo así a la erosión.

<sup>157</sup> Información proporcionada por la Sra. Nora Cabrera, ingeniero civil del Departamento de Programas del Ambiente, Ministerio de Salud Pública.

<sup>158</sup> *Ibid.*

Las actividades mineras existentes en la región, además de los cambios que producen las faenas extractivas, suelen acumular importantes cantidades de desechos, entre otros los provenientes de relaves de la minería del cobre.

La urbanización es un factor importante en el cambio de destino de los suelos de la cuenca, ya que transforma las condiciones naturales de los mismos y compite con la agricultura en el uso del agua, especialmente en terrenos regados de óptima calidad agrícola. Se estima que las zonas urbanas ocupan alrededor de un 40/o del suelo agrícola de riego. Las ciudades se han establecido en zonas de alta productividad donde también se han trazado las carreteras, convirtiéndose el río Aconcagua no sólo en el eje económico del valle, sino también en el eje vial y urbano.

Hasta hace poco, se carecía de información concreta sobre la calidad del agua del río Aconcagua, así como respecto a las fuentes efectivas y potenciales de contaminación, pero actualmente existen estudios sobre la materia que abordan diferentes aspectos del problema.<sup>159</sup> Sin embargo, todavía no se ha hecho un estudio completo ni existen estaciones permanentes de control de la calidad del agua. Pese a esta situación, todo parece indicar que el nivel de calidad del agua del río Aconcagua y sus afluentes, es relativamente elevada situación que se prolongaría hasta fines de siglo (véase el gráfico XV-3). Naturalmente, esta afirmación sólo puede basarse en el nivel de oxígeno disuelto en el río. En la actualidad y casi con certeza en lo sucesivo el grueso de los desechos que llegan al río de fuentes residenciales e industriales son de carácter orgánico. La cuantía de los demás desechos, que incluyen nutrientes, metales pesados y otras sustancias tóxicas, dependerá de la expansión de las actividades mineras y metalúrgicas en el valle y de los posibles cambios en la tecnología agrícola. Se sabe que es mínima la contaminación del recurso hídrico por las industrias mineras y la agricultura.

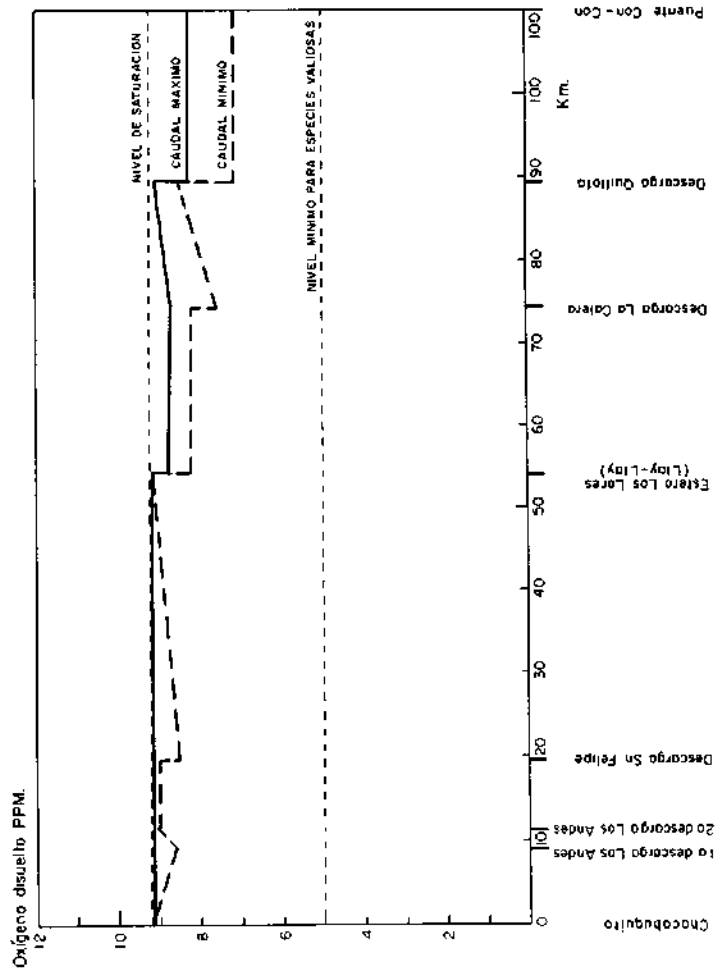
Los principales volúmenes de desechos se descargan en el río entre Llay-Llay y Quillota. En consecuencia, aumenta la demanda biológica de oxígeno y disminuye el nivel del oxígeno disuelto en el último tramo fluvial, entre Quillota y el puente carretero de Concón. Como corolario de esta situación:

- i) una proporción de la demanda de oxígeno es transferida al océano Pacífico, y
- ii) el tramo fluvial que tiene agua de peor calidad es precisamente el que

<sup>159</sup> Entre los estudios más importantes se cuentan los siguientes: Enrique Vallejos Salas, *Estudio de la contaminación del río Aconcagua*, CORFO, Departamento de Recursos Hídricos, agosto de 1971; Víctor G. Quintanilla, *La localización espacial de la contaminación en la quinta región*, y Antonio Forno A. y Raúl Campillo U. (autores principales), *Diagnóstico de los recursos básicos, principales actividades productivas, equipamiento en el valle del Aconcagua y proposición de una herramienta de decisión para la V Región*, Intendencia de la V Región, IREN/CORFO, Unidad Santa María, Valparaíso, agosto de 1977, pp. 114-132.

Gráfico XV-3

PERFIL DE OXIGENO DISUELTO EN EL RIO ACONCAGUA CON CARGAS ESTIMADAS PARA EL AÑO 2000



Fuente: IREN

abastece de agua en proporción creciente a Valparaíso y Viña del Mar.<sup>160</sup> Con el tiempo, sobre todo al terminarse el embalse Los Aromos en el Estero Limache, afluente del río, el volumen de nutrientes podría transformarse en otra causa de preocupación. La probabilidad de eutrofización de este embalse es muy elevada debido a los volúmenes de nutrientes y a la demanda biológica de oxígeno (DBO) relativamente elevados, tanto en el Estero como en el río Aconcagua después de Quillota.<sup>161</sup>

Pese a que los niveles de calidad del agua del río Aconcagua y sus afluentes son y serán probablemente relativamente elevados, no permiten descuento. El uso indiscriminado de los recursos hídricos puede fácilmente conducir a su degradación y generar costos externos que podrían evitarse.

### 3. La estrategia regional de desarrollo

La descentralización de los servicios y la estructuración del territorio nacional se reflejan en la nueva división geográfica, política y administrativa del país dispuesta por los Decretos Leyes Nº 573 y 575 de julio de 1974. En los considerandos del primero de ellos, denominado "Estatuto del Gobierno y Administración Interiores del Estado" se establecen los fundamentos de esta nueva división, y se destaca de modo preeminente el aprovechamiento integral de los recursos naturales en relación con la distribución geográfica de la población y la seguridad nacional, "de manera que se establezcan las bases para una ocupación más efectiva y racional del territorio nacional".<sup>162</sup> Se estima que el anterior sistema espacial del país llevaba aparejado, entre muchas otras situaciones conflictivas, "un deterioro del medio ambiente y una devastación y desequilibrio de los sistemas ecológicos por el uso indiscriminado e irracional de los recursos naturales a lo largo del territorio, debido principalmente a la no consideración de lo regional como hábitat permanente, sino como fuente de abastecimiento temporal de los centros de nivel nacional..."<sup>163</sup>

<sup>160</sup> La consecuencia económica de esto es que los costos del agua tratada se duplican pues hay que aplicar mayor cantidad de cloro debido a una demanda biológica de oxígeno (DBO) más elevada.

<sup>161</sup> Se ha recomendado que la toma de agua del Aconcagua al embalse esté situada antes de Quillota y no después, como está proyectada. Para una relación detallada sobre el efecto de la calidad del agua en el embalse, véase Gabriel Bazarola Metzger, *Influencia de la calidad de los recursos hídricos en el Embalse Los Aromos*, trabajo inédito, 1977.

<sup>162</sup> Presidencia de la República de Chile, Comisión Nacional de la Reforma Administrativa, *Chile hacia un nuevo destino*, Documento Nº 2, Santiago de Chile, junio 1975.

<sup>163</sup> *Ibid.*

a) *La política de desarrollo regional*

Los grandes objetivos de la actual política regional aspiran a lograr:

a) un equilibrio mayor entre el aprovechamiento del potencial de recursos naturales, la distribución geográfica de la población y la seguridad nacional;

b) una participación real de la población regional en la determinación de su propio destino, inserto en los objetivos más generales de la región y del país;

c) un uso racional del territorio y sus recursos;

d) una igualdad de oportunidades para todos los habitantes del país, y

e) un medio ambiente óptimo para un desarrollo más pleno. Se pretende que los objetivos específicamente regionales sean interdependientes y simultáneos con los grandes objetivos nacionales, y que la programación regional se integre en el marco de la programación global y sectorial.

En consecuencia con la política económica de mercado impulsada por el Estado, se postula la "máxima movilidad interregional de factores, principalmente capital y trabajo; la generación de una atmósfera económica positiva para la iniciativa creadora del sector privado y la entrega, a las distintas regiones, de mecanismos institucionales descentralizados que permitan una relativa autonomía en la toma e implementación de decisiones económicas".<sup>164</sup>

Se estima que el esquema anterior, conjuntamente con el sistema nacional de prioridades, debería atenuar la actual situación de desequilibrios regionales y establecer el fundamento de "una estructura económica espacial eficiente de acuerdo a las ventajas comparativas que cada región ofrezca en un sistema esencialmente de mercado".<sup>165</sup>

Por otra parte, se está consciente de que la actual estructura económica espacial del país es del tipo "metrópolis-periferia" en el cual tienden a aumentar los desequilibrios regionales imperantes. Con el fin de romper la inercia del proceso concentrador, se propone que la estrategia nacional de desarrollo regional tienda a maximizar el uso de los recursos en algunas regiones y centros urbanos seleccionados a través de una acción deliberada del Estado que garantice "el mayor impacto interregional de los efectos multiplicadores del proceso de crecimiento inducido".<sup>166</sup>

Se espera que el resto de las regiones y centros operen dentro del marco general de las políticas de desarrollo, y que su avance dependa de la eficiencia de las autoridades y de los sectores empresariales de la respectiva región. El gobierno, por su parte, estima que la inversión social en todo el territorio nacional es un poderoso instrumento para compensar las injusticias y desequilibrios regionales.

<sup>164</sup> ODEPLAN, *Estrategia nacional de desarrollo regional, año 1975-1990*, versión preliminar corregida, Santiago, 1976.

<sup>165</sup> ODEPLAN, *op. cit.*

<sup>166</sup> *Ibid.*

#### b) *Política de protección del medio ambiente*

La Estrategia Nacional de Desarrollo Regional le asigna un lugar destacado al problema de la contaminación ambiental dada su estrecha relación con el deterioro del sustrato territorial y la calidad de la vida, en gran parte provocado por la creciente industrialización y la aplicación de tecnologías que, junto con propender a una mayor producción, están alterando los ecosistemas. El costo económico que significa corregir esta situación debe ser asumido por la misma industria.

Se estima que es necesario conciliar la localización y la expansión de las industrias con políticas relativas a la preservación del medio ambiente, racionalizando el uso de los recursos naturales que constituyen sus insumos y que tradicionalmente han estado sometidos a explotación intensiva.

A través de la planificación regional se espera, a mediano plazo, hacer compatibles el desarrollo industrial, la disminución de los desequilibrios regionales, el aprovechamiento integral de los recursos naturales y la reducción de la contaminación ambiental, todo ello acorde con las necesidades del crecimiento económico. Se le asigna un importante papel a la dictación de una "legislación mínima de protección del medio ambiente", que establezca los límites permisibles de contaminación y que asegure, a mediano y largo plazo, costos por unidad-producto inferiores a los que se originarían si se mantiene una forma de desarrollo que implica cuantiosas inversiones para corregir los efectos nocivos de la polución.

Se prevé que la localización de las actividades económicas y muy especialmente de las industrias adquiere una importancia cada vez mayor con la protección del medio ambiente, especialmente cuando el desarrollo futuro tiene un componente importante basado en la explotación de los recursos naturales renovables.

#### c) *La V Región*

De acuerdo con la política de desarrollo regional, se ha seleccionado la V Región como nexo en los dos sistemas geoeconómicos norte y central, a fin de que se puedan constituir y sustentar "centros urbano-marítimos de nivel interregional, de gran población y de actividades de producción y servicios de máxima diversificación... dotados de alta tecnología en los sectores de salud y educación superior".<sup>167</sup> A estos efectos se ha constituido el "frente urbanopuerto Quintero-Valparaíso-San Antonio", con cabecera en Valparaíso —que deberá consolidar su condición de puerto de importancia nacional en orden a lograr una eficiente infraestructura para la exportación de los productos regionales, y a aprovechar en mejor forma el corredor internacional de vinculación con Argentina y la costa atlántica.

<sup>167</sup> *Ibid.*

Por otra parte, la región cumple el importante papel de consolidar su base agroindustrial e industrial, absorbiendo las migraciones del norte del país, que ahora convergen hacia la capital, e incentivando el turismo regional.

La estrategia de la Oficina Nacional de Planificación (ODEPLAN) consiste en modificar la histórica tendencia al descenso demográfico relativo de la región,<sup>168</sup> asignándole un rango de crecimiento medio para 1990. El sistema urbano-regional debe reducir la concentración y en su lugar, promover los cuatro subsistemas regionales, San Felipe-Los Andes, La Calera-Quillota, La Ligua, Petorca y San Antonio, a su fin de consolidar la población de los mismos y reforzar los centros menores.

#### d) *Sistema urbanoespacial del valle*

La estrategia regional procura consolidar el corredor de desarrollo formado por el sistema de ciudades a lo largo del río Aconcagua, que se complementa con el frente urbanoportuario, Quintero-Valparaíso-San Antonio. El robustecimiento del sistema urbano a través de un adecuado desarrollo industrial y de una dotación de servicios y viviendas que satisfagan las necesidades de la población en el eje Cordillera-Mar, puede lograr retener, al menos parcialmente, la migración del norte del país hacia el Área Metropolitana de Santiago.<sup>169</sup>

En el eje del valle, que "corre entre el primer puerto marítimo y el primer puerto terrestre del país"<sup>170</sup> existen dos centros microrregionales, Quillota-La Calera y San Felipe-Los Andes. La proyección de la tendencia histórica de la población al año 2000 nos muestra que en la microorregión de Quillota-La Calera ésta se mantendrá y que San Felipe - Los Andes tenderá a disminuir. A fin de consolidar el eje del Aconcagua, la estrategia espacial microrregional propone básicamente reforzar el equipamiento y los servicios en las ciudades de Quillota y San Felipe y acentuar las instalaciones industriales de La Calera y Los Andes.

#### e) *La estructura económica*

Para los subsistemas situados en la cuenca del Aconcagua, la estrategia tiende, en lo que respecta a la población económicamente activa, a que se logre disminuir en forma relativa el sector agrícola, propendiéndose así a un crecimiento del sector industrial en general y agroindustrial en particular, de acuerdo con la especialización de cada uno de los subsistemas.

<sup>168</sup> En 1875 la población de las antiguas provincias de Valparaíso y Aconcagua representó el 14,20/o de la población de Chile; en 1975 ésta sólo ascendía al 10/o.

<sup>169</sup> Carlos Mena M. *Estrategia urbano-regional V Región*, comunicación presentada al Tercer Seminario de Desarrollo Urbano y Regional: Desarrollo Regional de la V Región, auspiciado por el Instituto de Ciencias Sociales y Desarrollo de la Universidad Católica de Valparaíso.

<sup>170</sup> *Ibid.*

Respecto de la base económica rural, se debería ampliar la superficie de cultivos en un 740/o, reduciendo la superficie destinada a las praderas en un 560/o y haciendo más intensiva la explotación de la masa ganadera, con lo cual se absorbería la actual oferta de mano de obra y se generarían 20 700 empleos para 1990. En las zonas de secano, se espera suplementar la explotación de ovinos con pequeños sectores regados y continuar la producción de cereales en sectores no erosionables y con humedad suficiente.

Con respecto a la base económica urbana, se pretende desarrollar en la cuenca alta industrias vinculadas a los recursos naturales. En toda la región, se pretende establecer más industrias a fin de detener su desplazamiento hacia Santiago. En general, el sector industrial debería tender hacia una mayor diversificación productiva, lo cual le permitiría ampliar su mercado interno y externo. Dadas las necesidades de vivienda detectadas, se propone la instalación de industrias de materiales de construcción.

En el subsector agroindustrial, se propone la expansión de la fruticultura (fruta fresca, selección, empaque y almacenamientos en frigoríficos) y de la horticultura (mejoramiento de los sistemas de acopio y embalaje). Todo ello otorgará un impulso a la producción frutícola y hortícola junto con la ampliación de la infraestructura agroindustrial y al aumento de las exportaciones, así como la producción de cereales y productos hortícolas, cultivos industriales y semillas.

La estrategia regional señala la importancia de considerar para la cuenca del Aconcagua las políticas de desarrollo de los yacimientos mineros de la Compañía Minera Andina en Río Blanco, El Soldado, y la fundición de Chagres.

#### *f) El marco administrativo*

La división políticoadministrativa establece tres provincias en el valle: Quillota, San Felipe y Los Andes. Como en el resto del país, en Aconcagua el sistema regional es esencialmente jerárquico y funciona sobre la base de tres niveles de competencia: el nivel regional, a cargo del Intendente; el nivel provincial, bajo la dirección del Gobernador, y el nivel comunal, administrado por el Alcalde.

El Intendente Regional es la autoridad superior de la región y a él le compete determinar las políticas de desarrollo, aprobar sus planes y programas y el presupuesto regional, y fiscalizar y ejercer el mando sobre todo el aparato administrativo del Estado existente en su nivel. Es asesorado por la Secretaría Regional de Planificación y Coordinación (SERPLAC) y por el Consejo Regional de Desarrollo.

Los Gobernadores Provinciales son las autoridades encargadas de las tareas propias del gobierno interior en las provincias, y de las labores de fiscalización y coordinación de los servicios del Estado bajo su dependencia. Pueden actuar con la cooperación de un comité técnico asesor.

Los alcaldes, como jefes del municipio, poseen facultades para enfrentar los problemas locales, pero deben actuar con el apoyo técnico de la Oficina Comunal de Planificación y Coordinación y con la asesoría del Consejo Comunal de Desarrollo.

SERPLAC es un organismo técnico encargado de la planificación del desarrollo regional. Sin perjuicio de la subordinación jerárquica del SERPLAC al Intendente Regional, y con el fin de asegurar su integración con el sistema nacional de planificación, existe una dependencia técnica con ODEPLAN.

Los Consejos y Comités asesores antes mencionados están integrados por representantes del sector público y privado, con participación de las principales actividades del respectivo nivel.

La región se relaciona con los diversos sectores de la administración nacional a través de las Secretarías Regionales Ministeriales, que representan a los respectivos ministerios y actúan por delegación de facultades. La ejecución de los programas regionales, provinciales, y comunales están directamente coordinados y aún muchas veces bajo la tuición de las respectivas autoridades superiores en materias estrictamente regionales, provinciales o comunales, según corresponda.

La participación regional en el proceso de asignación presupuestaria se efectúa de diversas maneras dependiendo del tipo de proyectos o programas que se vayan a incluir en el presupuesto. Así, si los proyectos son calificados "de importancia nacional", la región se limita a informar al nivel central; los "proyectos de importancia interregional" son decididos en el ámbito nacional con consulta e información a las regiones directamente afectadas; los "proyectos de importancia propiamente regional" son decididos y ejecutados en cada región; por último, respecto de los "proyectos de importancia local", las autoridades de la región son informadas de la decisión adoptada en la provincia o comuna.

En la asignación de los recursos sectoriales, el nivel de participación regional sólo puede estar referido a los gastos de inversión y, dentro de éstos, sólo a los proyectos de carácter multirregional y regionales o comunales que pudieren precisar de un financiamiento sectorial complementario.

El Fondo Nacional de Desarrollo Regional,<sup>171</sup> al que se destina a lo menos un 50/o del volumen total de los ingresos calculados para los sistemas tributarios y arancelarios (excluida la contribución de bienes raíces), es asignado a la propia región y queda bajo su responsabilidad. Esta se compromete de acuerdo con su propia estrategia de desarrollo, con determinados proyectos cuya prioridad y ejecución es aprobada por el Gobierno a través de la Oficina de Planificación Nacional, y por la Intendencia Regional con el apoyo de SERPLAC y del Consejo Regional de Desarrollo. En el año 1976 el Fondo Nacional de Desarrollo Regional representó, en términos reales, un 27.740/o del total de las inversiones de la región.<sup>172</sup>

<sup>171</sup> Creado por Decreto Ley Nº 575, 1974.

<sup>172</sup> Ministerio de Hacienda, Dirección de Presupuesto.

El destino de los fondos provenientes del Fondo de Financiamiento del Régimen Municipal es decidido en el municipio conforme a los criterios del plan de desarrollo municipal y en consonancia con la estrategia regional.

g) *La administración de los recursos hídricos*

Respecto de los recursos hídricos la actividad del Estado se ejerce a través de una serie de unidades administrativas que desde el punto de vista funcional cuentan simultánea o aisladamente con poder de decisión (formulación de políticas básicas, coordinación general, planeamiento global, asignación de recursos, control de administrativos, etc.), atribuciones ejecutivas u operativas directas y/o actividad consultiva y de investigación (véase el cuadro XV-6).

Entre los organismos que tienen una mayor ingerencia está la Dirección General de Aguas. El Código de Aguas, conjuntamente con las leyes y reglamentos complementarios que regulan las actividades vinculadas a los recursos hídricos, tanto de la Administración Pública como de los particulares, dispone que la Dirección General de Aguas es la única autoridad administrativa competente. Esta se encarga de estudiar, investigar, evaluar, planificar, asignar y ejercer los controles administrativos y legales de la utilización del agua y de fijar políticas al respecto. Asimismo, le compete estudiar en los planos nacional y regional y en la cuenca hidrográfica misma, la forma en que el agua puede servir para desarrollar planes de inversión y atender las diversas demandas agrícolas, mineras, industriales, habitacionales y de producción de energía.

El campo de acción de la DGA comprende, entre otras atribuciones, el ejercicio exclusivo del poder para otorgar concesiones de todos los usos del agua, lo que incluye establecer el orden de prioridad de las concesiones o mercedes que están fijadas por el Código de Aguas, llevar el registro público de las mismas, determinar las cargas financieras que se les impongan y declarar su caducidad. Asimismo, la Dirección puede disponer el cambio de la fuente de abastecimiento, proponer el establecimiento de zonas de racionalización del uso del agua, autorizar y controlar las obras hidráulicas, supervisar las organizaciones de usuarios (asociaciones de canalistas, comunidades de agua y juntas de vigilancia) e imponer multas y sanciones.

Estas últimas organizaciones, pese a estar constituidas por los usuarios de los sistemas de riego, poseen también jurisdicción de conformidad con el Código de Aguas vigente en Chile. Las asociaciones de canalistas están formadas por quienes tiene derecho a usar el agua del mismo curso artificial. Dichas asociaciones poseen atribuciones para repartir el agua entre sus miembros y construir, explotar, conservar y mejorar las obras que permiten transportar el agua de su fuente al usuario.<sup>173</sup> Cuando no existen

<sup>173</sup> Las funciones y formas de las asociaciones de canalistas, comunidades de agua y juntas de vigilancia están establecidas en el *Código de Aguas de la República de Chile*, Decreto N° 194 del 19 de febrero de 1973, Ministerio de Justicia, artículos 88 al 184.

## ADMINISTRACION DE LOS RECURSOS HIDRICOS

| Macrosector     | Ministerio                            | Institución                                                                       | Funciones <sup>a</sup> |   |   |   |   |
|-----------------|---------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------|---|---|---|---|
|                 |                                       |                                                                                   | A                      | B | C | D | E |
| Infraestructura | Obras Públicas                        | Dirección General de Aguas                                                        | X                      |   |   | X |   |
|                 |                                       | Dirección de Riego                                                                | X                      | X | X | X | X |
|                 |                                       | Departamento de Defensas Fluviales                                                |                        | X | X | X | X |
|                 |                                       | Servicio Nacional de Obras Sanitarias (SENDOS)                                    | X                      | X | X | X | X |
| Económico       | Economía, Fomento y Reconstrucción    | Empresas municipales y particulares de agua potable y alcantarillado <sup>b</sup> | X                      | X | X | X | X |
|                 |                                       | Comisión Nacional de Riego                                                        | X                      | X | X | X |   |
|                 |                                       | Instituto de Investigaciones Geológicas <sup>c</sup>                              | X                      |   |   |   |   |
|                 |                                       | Instituto de Recursos Naturales (IREN) <sup>c</sup>                               | X                      |   |   |   |   |
| Social          | Vivienda y Urbanismo<br>Salud Pública | Compañía Chilena de Electricidad (CHILECTRA) <sup>c</sup>                         | X                      | X | X | X | X |
|                 |                                       | Servicio de Vivienda y Urbanización (SERVIU)                                      | X                      | X | X | X |   |
|                 |                                       | Programa Higiene Ambiental                                                        | X                      |   |   |   | X |
|                 |                                       | Servicio Nacional de Salud (S.N.S.)                                               | X                      |   |   |   | X |

<sup>a</sup> A: Planificación y estudios; B: Programación y proyectos; C: Inversiones en obras físicas; D: Administración y control; E: Exploración.

<sup>b</sup> Organismos autónomos relacionados con el Gobierno Central a través del Ministerio de Obras Públicas (MOP).

<sup>c</sup> Organismos de administración autónoma o empresas dependientes de la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO), que es a su vez un organismo de administración autónoma, relacionado con el gobierno a través del Ministerio de Economía.

asociaciones de canalistas legalmente constituidas, pero hay dos o más usuarios de cualquier curso de agua artificial, éstos constituyen una comunidad de agua, que es una entidad parecida pero con menos atribuciones.

A diferencia de las instituciones precedentes, las juntas de vigilancia, pese a ser también entidades constituidas por usuarios, ejercen su autoridad sobre los cursos de agua naturales y poseen derechos asignados al agua de dichos cursos. Pueden estar formadas por las asociaciones, comunidades, o por particulares, ya sea por separado o en conjunto. La junta de vigilancia tiene por funciones administrar y distribuir el agua a que tienen derecho sus miembros, así como mantener, mejorar y construir las obras necesarias para su distribución.

En el valle del Aconcagua hay numerosas asociaciones y comunidades, pero sólo tres juntas de vigilancia. A los efectos de los derechos de agua de riego, el río Aconcagua está dividido en cuatro secciones, a las que se suma su afluente principal el río Putaendo. De estas cinco zonas principales, sólo la primera, Los Andes y San Felipe, el río Putaendo, y la tercera, desde Puntilla Romeral hasta Quillota, tienen juntas de vigilancia. En las secciones segunda y cuarta, las asociaciones y comunidades sólo tienen derecho a captar agua según la cantidad disponible. La importancia de esta diferencia estriba en el hecho de que la primera sección no tiene obligación de entregar agua a la segunda, ni la tercera a la cuarta.

Sin perjuicio de lo anterior, las facultades concedidas a la nueva Comisión Nacional de Riego, establecida en conformidad con el Decreto-Ley Nº 1172 de 1975, contribuyen a hacer más compleja la situación. La Comisión Nacional de Riego cae bajo la tuición de un Consejo Interministerial, que está constituido por los Ministerios de Economía, Desarrollo y Reconstrucción, Hacienda, Obras Públicas y Agricultura, y por el Director de la Oficina de Planificación Nacional (ODEPLAN). Esto significa que sólo uno de los usos del agua —el riego— está en manos de un organismo interministerial de alto nivel, lo cual puede contribuir a que la administración integrada de los recursos hídricos se torne ineficiente e irracional.

#### *4. Conclusiones*

De los hechos presentados en este estudio se desprende con claridad que desde el punto de vista del manejo ambiental el valle del Aconcagua posee dos características sobresalientes. Primera, que el valle es el escenario de una intensificación general de las actividades humanas en casi todos los aspectos y, segunda, que el sistema institucional vigente no es precisamente el más conveniente para manejar este proceso, aunque existirían las bases necesarias para desarrollar un sistema institucional capaz de reaccionar de manera adecuada a las necesidades que pudieran plantearse.

Desde el punto de vista físico, existe la grave posibilidad de que en el futuro haya una fuerte competencia por los recursos hídricos y terrestres del valle entre la agricultura y los usuarios urbano-industriales. Ambos

recursos son limitados, y si bien es cierto que ahora el factor restrictivo es el agua, puede que más adelante ésta no sea la tónica en todo el valle. La expansión de las zonas urbanas y su correspondiente infraestructura, ejercerán fuertes presiones sobre las tierras de mejor calidad, especialmente en los alrededores de Quillota y La Calera.

Si bien de la regionalización pueden surgir perspectivas muy promisorias para la administración del desarrollo del valle, es importante que los recursos sean administrados en forma concertada. Lo anterior podría requerir la creación de una entidad con asiento en la cuenca del río, con amplias atribuciones legales y que se encargara de administrar y planificar el uso de las aguas del Aconcagua. Dicha entidad debería contar con la colaboración de los organismos del sector público y la participación de los diferentes usuarios del sistema. De acuerdo con los principios de la regionalización y la estructura administrativa que se ha establecido, la participación de la comunidad constituye uno de los componentes fundamentales para garantizar una gestión realista y eficiente de los recursos.

El nivel regional puede ser una instancia adecuada para interpretar las necesidades y aspiraciones de los usuarios ya que dispone de una estructura funcional favorable para establecer relaciones con el nivel local, en el que se manifiestan con mayor evidencia situaciones de conflicto derivadas de una deficiente administración de los componentes básicos del sistema natural.

En el Estatuto del Gobierno y Administración Interiores del Estado se establecen los organismos que asesoran a las autoridades en los tres niveles de competencia: regional, provincial y local. Dichos organismos están formados por Consejos y Comités integrados por representantes de las principales actividades del sector público y privado y su puesta en funcionamiento debería promover una auténtica participación de los sectores privados y de las comunidades locales a las que junto con exigírseles una verdadera representatividad debería garantizárseles una valoración significativa de sus aportes y puntos de vista.

El proceso de regionalización y descentralización administrativa también es un instrumento que puede llegar a constituir un efectivo avance para una administración exclusivamente centralizada en lo que se refiere a la revalorización de los recursos naturales y al mejoramiento y preservación de la calidad del medio ambiente.

En particular, las consecuencias de estas propuestas para el desarrollo futuro del valle en materia de uso del agua son variadas y múltiples. La expansión de la superficie regada tanto en el valle como fuera de él, mediante transvases al valle de La Ligua-Petorca situado al norte, y la mayor seguridad de abastecimiento en los sistemas de riego existentes, someterán al río y a las fuentes de agua rurales a exigencias considerables.<sup>174</sup>

<sup>174</sup> Juan A. Poblete, *La Cuenca del Río Aconcagua-Chile, Cantidad y calidad del agua: Descripción y proposición de estudios futuros*, 1977 (inédito).

El uso doméstico e industrial aumentará con el crecimiento demográfico e industrial en el valle y en la zona metropolitana de Valparaíso-Viña del Mar situada en la costa. Al mismo tiempo, el crecimiento demográfico e industrial intensificará el uso del río como medio de transporte y receptor de desechos. Como contraparte aumentará el valor estético del valle a medida que se expanda el turismo tanto nacional como internacional.

De continuar las tendencias vigentes, llegará un momento en que el agua utilizada en la agricultura entrará en fuerte competencia, e incluso en conflicto, con otros usos. La disminución de dicha competencia dependerá no tanto de posibles aumentos de la oferta gracias a obras de regulación, sino sobre todo de los adelantos en la tecnología de riego.<sup>175</sup> En último término, el agua podría convertirse en un recurso limitante en toda la región que depende del caudal del Aconcagua.

La utilización óptima de los recursos hídricos del valle del Aconcagua exige que se les administre de manera integrada. Sólo la integración permitiría, por ejemplo, la transferencia de agua de la cuenca superior, donde se utilizan volúmenes excesivos para riego, a la parte baja, donde la escasez de agua ya está comenzando a repercutir en la productividad. Asimismo, es el único medio de controlar la calidad del agua y de resolver el conflicto potencial entre las demandas agrícolas y urbanoindustriales. La administración y funcionamiento de la cuenca del Aconcagua como sistema integrado, permitiría controlar hasta cierto punto el sistema natural. Por tanto, interesa explorar las posibilidades institucionales de estructurar un sistema administrativo integrado tanto en los planos regional como nacional. Será necesario, sobre todo, precisar la relación entre la Dirección General de Aguas y la Comisión Nacional de Riego.

<sup>175</sup> El embalse Puntilla del Viento como obra exclusivamente reguladora no generará beneficios suficientes que justifiquen una inversión que sólo será rentable si mejora también la eficacia del riego.

## BIBLIOGRAFIA

- Chile, Junta de Gobierno, *Estatuto del Gobierno y Administración Interiores del Estado*, Nº 573, Santiago, 8 de julio de 1977.
- Chile, *Mensaje Presidencial 11 Septiembre 1976 - 11 Septiembre. 1977.*
- Chile, Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción, Instituto Nacional de Estadística, *Chile, compendio estadístico 1976*, s.f.
- Chile, Ministerio de Obras Públicas, Oficina de Planificación y Urbanismo, *Plan de infraestructura MOP, V Región*, 1976, (Planos).
- Chile, Ministerio de Obras Públicas, *Plan de infraestructura MOP, V Región. Identificación y priorización de proyectos*, informe preliminar, Consultores del Hábitat, septiembre de 1977.
- Chile, Oficina de Planificación Nacional (ODEPLAN), *Estrategia nacional de desarrollo regional, 1975-1990*, versión preliminar revisada, Santiago de Chile, 1976.
- Chile, Presidencia de la República, Comisión Nacional de la Reforma Administrativa, *Chile hacia un nuevo destino*, Documento Nº 2, Santiago de Chile, junio de 1976.
- Forno A., Antonio y Campillo V., Raúl (autores principales), *Plan de desarrollo del Aconcagua. Diagnóstico de los recursos básicos, principales actividades productivas, equipamiento en el Valle del Aconcagua y proposición de una herramienta de decisión para la V Región*, Intendencia de la V Región, IRLN/CORFO, Universidad Santa María, Valparaíso, agosto de 1977.
- Mena M., Carlos, *Estrategia urbano-regional. V Región*, trabajo presentado al Tercer Seminario de Desarrollo Urbano y Regional: Desarrollo Regional de la V Región, Universidad Católica de Valparaíso, Instituto de Ciencias Sociales y Desarrollo, s.f.
- Poblete, J.A., et al., *Análisis de alternativas de uso óptimo de los recursos agua y tierra en la cuenca del río Aconcagua, Chile*, versión resumida, CEPAL, DEA, IREN, Santiago de Chile, 1976.
- Quintanilla, Víctor G., *La localización espacial de la contaminación en la Quinta Región*, Departamento de Geografía, Universidad de Chile, 1976.
- Naciones Unidas, Comisión Económica para América Latina e Instituto de Economía, Legislación y Administración del Agua, *Agua, desarrollo y medio ambiente. Administración hídrica en América Latina*, con la colaboración del Instituto Nacional de Ciencias y Técnicas Hídricas, Mendoza, Argentina, 1976.
- Vallejos S., Enrique, *Estudio de la contaminación del río Aconcagua*, Departamento de Recursos Naturales, CORFO, Santiago de Chile, Agosto de 1971.

## Anexo A

### ALGUNOS CRITERIOS ANALITICOS PARA INVESTIGAR Y EVALUAR LAS RELACIONES ENTRE EL MANEJO DEL AGUA Y EL MEDIO AMBIENTE

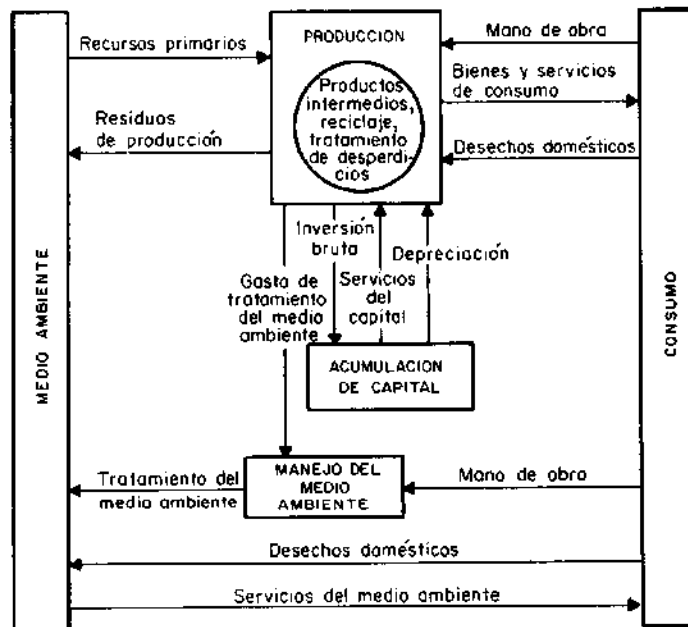
Interesa aclarar desde el comienzo que los criterios analíticos para evaluar las relaciones entre manejo del agua y medio ambiente no se apartan de los que podrían aplicarse a otros recursos. De hecho, la introducción de dimensiones ambientales exige la incorporación explícita de interdependencias entre el uso de la tierra, aire, agua y recursos bióticos. Gran parte de la teoría del manejo ambiental ha sido el resultado de la preocupación que existe por las consecuencias no planificadas del uso intensificado del agua.

Además, una parte considerable del *corpus* teórico acerca del manejo del medio ambiente proviene de los países urbanoindustriales, por lo cual no sorprende comprobar que los temas más destacados sean el esparcimiento, la salud humana, la estética y la conservación de bancos bióticos de genes como base para la futura tecnología de la producción. Se ha subrayado la capacidad del medio ambiente natural para absorber residuos del proceso económico; no obstante, la degradación del medio ambiente (disminución de su capacidad de proporcionar la corriente continua de bienes y servicios que necesita el hombre) es la misma ya sea como resultado de la descarga de desechos del proceso de producción y consumo, de la extracción de recursos de reserva o del uso directo de recursos fluyentes tales como el agua. A pesar del desarrollo de varios centros urbanos de gran tamaño en América Latina, que evidentemente ha provocado una acumulación concentrada de residuos, puede decirse que las cuestiones ambientales más fundamentales son las relativas a la extracción y al uso del vasto acopio regional de recursos naturales.

El gráfico A-1 presenta esquemáticamente una interpretación de la relación de la sociedad con el medio ambiente natural, interpretación que se basa en el equilibrio de los materiales. El esquema muestra el flujo de recursos primarios al consumo directo y al proceso de producción, donde éstos se

Gráfico A-1

UN ESQUEMA SIMPLE DE EQUILIBRIO DE MATERIALES



Fuente: Karl-Göran Mäler, *Environmental Economics: A Theoretical Inquiry*, The John Hopkins Press, Baltimore, 1974, pag. 3

combinan con el trabajo y el capital para producir bienes y servicios para el consumo y la inversión. La afluencia de materiales dependerá de la demanda por habitante y del tamaño de la población. Con el desarrollo, aumentan tanto el ritmo de extracción de los recursos como el de producción de residuos. Así, todas las economías producen efectos perjudiciales sobre el medio ambiente; sólo la intensidad de dichos efectos variará con el desarrollo. Tales efectos pueden variar también exclusivamente debido al crecimiento de la población o a cambios en la distribución de la misma.<sup>176</sup> En

<sup>176</sup> Véanse Yi-fu Tuan, "Discrepancies between environmental attitudes and behaviour: Examples from Europe and China", *Canadian Geographer*, vol. 12, N° 3, octubre de 1968, pp. 176-191, y Peter Cox y John Peel (eds.), *Population and Pollution*, Proceedings of the Eighth Annual Symposium of the Eugenics Society, Londres, 1971, Academic Press, Londres, 1972.

este último caso, el efecto de las actividades humanas sobre la calidad del medio ambiente probablemente se expresará más directamente a través de las presiones sobre el medio ambiente físico, que indirectamente mediante la descarga de residuos y desechos, la cual se vincula más con la cantidad de materiales procesados por la economía y por ello no depende tanto del tamaño de la población.<sup>177</sup>

En ningún caso existe una relación simple entre la población, la productividad y la calidad del medio ambiente. La naturaleza de dicha relación depende de los componentes específicos de la situación, por lo cual resulta difícil proponer una tesis general. Sólo puede afirmarse con certeza que la productividad intensifica la presión ejercida por el hombre sobre el medio ambiente natural. Dicha intensificación probablemente puede traducirse en un aumento del nivel de deterioro del medio ambiente. La magnitud de dicho deterioro variará, sin embargo, de acuerdo con la base económica, la tecnología empleada, la naturaleza del medio ambiente, y las tradiciones y esquemas institucionales de la sociedad.

### *1. El marco económico para formular dimensiones ambientales en el manejo del agua*

La economía de los recursos procura: comprender la distribución del uso de los recursos en el tiempo en función de la relación entre los procesos de producción técnica, las motivaciones individuales y las instituciones que circunscriben el comportamiento social y económico; evaluar las fuerzas económicas que tienden a modificar esta distribución, y evaluar los criterios con arreglo a los cuales se estima que las modalidades de utilización de los recursos son mejores (u óptimas) desde el punto de vista privado y social. Los recursos naturales poseen propiedades especiales —posibilidad de renovarse, de agotarse, de reproducirse, de recuperarse de manera natural o artificial— que indican la preocupación especial por las existencias y la conservación (como parte de un proceso global de acumulación de capital o de conservación del capital), de una corriente permanente de servicios productivos. Cuando se maneja este tipo de recursos, el contar con plazos muy largos reviste mucho más importancia que en la mayoría de los demás sectores económicos. Además, muchos recursos poseen las características de propiedad común, lo que entraña dispositivos institucionales especiales para regular su utilización.

En términos económicos, puede considerarse que el medio ambiente es un activo no susceptible de reproducción que le ofrece al hombre una corriente de servicios. Estos servicios pueden ser de dos clases:

<sup>177</sup> Véase Ralph C. d'Arge, "Economic growth and the natural environment" en Allen V. Kneese y Blair T. Bower, *Environmental Quality Analysis*, Johns Hopkins, Baltimore, 1972, pp. 11-34.

i) los que diseminan, almacenan o asimilan los residuos del proceso de producción y consumo, y

ii) los que proporcionan insumos materiales, sirven para mantener la vida y ofrecen esparcimiento. De esta manera, una vez más desde el punto de vista económico, la calidad del medio ambiente puede definirse como la corriente y composición de los servicios ambientales de la segunda clase (los que no consisten en la recepción de desechos), y medirse de acuerdo con el valor que les asigna la sociedad. Habrá daño ambiental si la corriente de estos servicios se ve menoscabada por una mala administración, como ocurre cuando se extraen demasiadas materias primas o se elimina un exceso de residuos.

Para evaluar la eficiencia con que se manejan los recursos y el daño ocasionado al medio ambiente hay que asignar valores sociales o personales a los beneficios que se obtienen de estos servicios, aunque muchos de ellos no pasen por el mercado. El grado de daño se mide por la reducción que experimenta la corriente de servicios como resultado del manejo inapropiado de los recursos o de los residuos. En el caso de los servicios de los recursos hídricos y conexos que no consisten en la recepción de residuos, el análisis económico consiste en definir la gama de costos y beneficios externos y los elementos temporales tales como las fluctuaciones de las existencias de recursos, la tasa de descuento, la incertidumbre y la corriente de insumos y productos.

Uno de los marcos económicos elaborados para analizar la calidad del medio ambiente en función del manejo de los residuos comienza por desagregar el producto total (W) en: consumo, gastos e inversiones del gobierno (N), y servicios ambientales netos (E), de donde resulta que  $W = N + E$ .<sup>178</sup>

Si no hubiese daño al medio ambiente el valor de E sería igual a los servicios ambientales brutos; como consecuencia del daño, debe descontarse la corriente de servicios ambientales por el perjuicio ocasionado directamente o a través de la eliminación de residuos. Esta relación puede representarse introduciendo  $E^*$  igual a los servicios ambientales brutos. La disminución del valor de los servicios ambientales (D) que se produce como consecuencia del daño ambiental es igual a la diferencia  $E^* - E$ . Sin embargo, si se adoptan medidas para reducir (D), hay que destinar a ello algunos bienes y servicios. Si  $N^*$  es igual al valor de los bienes y servicios que se producirían si no hubiese protección ambiental, y T es igual al valor de los recursos absorbidos por las actividades de protección del medio ambiente, el valor neto de los bienes y servicios producidos es igual a  $N^* - T$ , de manera que,

$$W = (N^* - T) + (E^* - D)$$

$$\text{o bien, } W = (N^* + E^*) - (T + D)$$

<sup>178</sup> R.H. Havemann, "On estimating environmental damage: A survey of recent research in the United States", en OCDE, *Environmental Damage Costs*, París, 1974, pp. 101 a 135.

La suma  $(T + D)$  es el costo total del daño al medio ambiente y constituye una disminución real del bienestar económico. De esta manera, el nivel óptimo de bienestar económico se logra minimizando  $(T + D)$ . El punto se alcanza cuando el aumento marginal de los costos por concepto de protección ambiental es igual a la reducción marginal del daño al medio ambiente, es decir,  $\Delta T = \Delta D$ .

Esta sencilla relación se ilustra en el gráfico A-2. La función del daño  $(D)$  se eleva a medida que declina la calidad del medio ambiente. El costo de la función de control  $(T)$  aumenta a medida que sube el nivel de la calidad ambiental. El costo total  $(D + T)$  en función del bienestar económico a que se renuncia para conservar la calidad del medio ambiente y de la pérdida ocasionada por el deterioro del medio ambiente se representa por la suma de las ordenadas correspondientes a las otras dos curvas. El nivel óptimo de calidad del medio ambiente se encuentra en el punto  $Q'$  en que los costos o pérdidas se minimizan, con un nivel de costos de protección  $T'$  y un nivel de daño igual a  $D'$ . En una situación de desarrollo dinámico, cambiaría la relación en que se encuentran  $T$  y  $D$  respecto de  $W$ , y lo mismo sucedería con las funciones de costo y daño. Además, a medida que se modifica la modalidad de producción, cambia la relación entre las funciones.

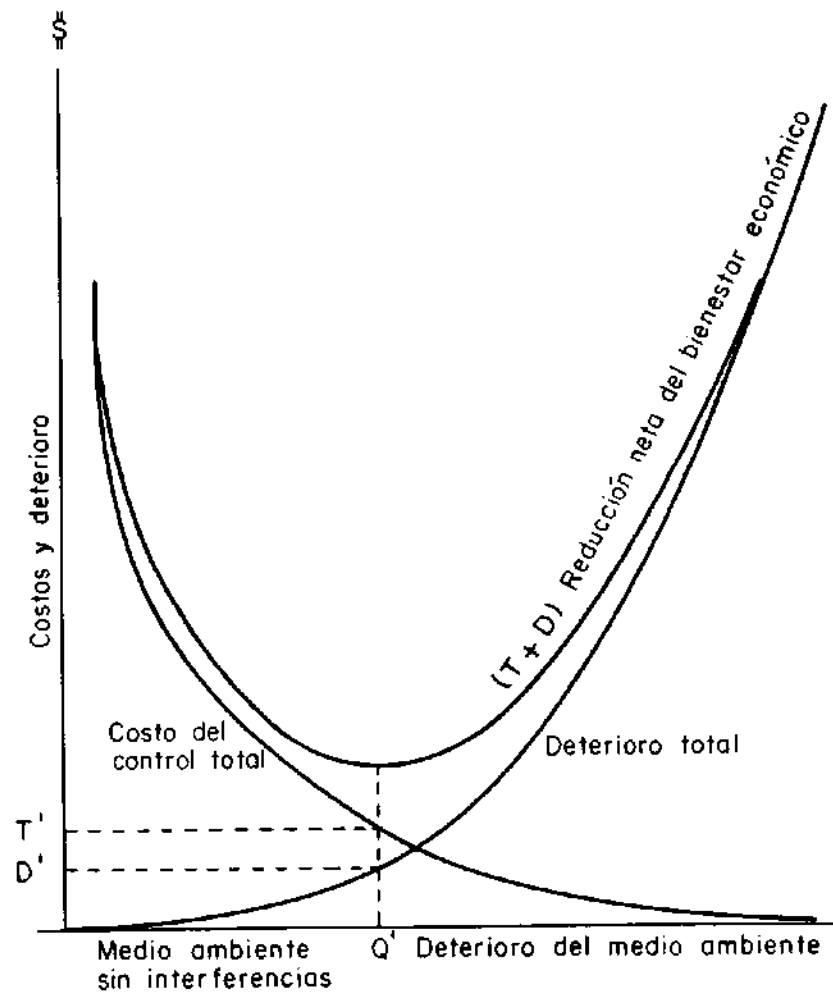
El marco analítico descrito en el gráfico A-2 también puede aplicarse a cuestiones relativas a la calidad del medio ambiente no relacionadas con los residuos. En este caso, el eje horizontal podría representar pérdida de tierra o reducción de las biomásas, en lugar de concentración de residuos. La función daño sigue siendo la medida de la pérdida de los servicios ambientales. La función costo refleja la creciente desviación de recursos para proteger el medio ambiente (por ejemplo, educación, vigilancia, o medidas directas de conservación de los recursos), a fin de que los servicios ambientales que se desean se mantengan en un nivel alto. Uno de los problemas fundamentales es la estructura de los servicios ambientales que se desean en relación con la tecnología, el producto y la distribución espacial de la actividad, que también entrañan cuestiones éticas relativas al bienestar social y a la distribución.

Es axiomático sostener que el desarrollo y el manejo del medio ambiente entrañan la elección de una opción al distribuir los recursos de modo de alcanzar objetivos múltiples. Uno de estos objetivos es la preservación de un determinado nivel de calidad del medio ambiente. El problema radica en determinar cuál debe ser ese nivel, dadas las demás exigencias de la sociedad. Esto puede examinarse dentro del marco del análisis de los beneficios. Desde el punto de vista conceptual, para la toma de decisiones del sector público en materia de calidad del medio ambiente pueden aplicarse tres criterios relativos a la eficiencia —la utilidad social, la productividad física y el producto interno bruto—<sup>179</sup> que se indican en el gráfico A-3.

<sup>179</sup> R. Dorfman y N.S. Dorfman, (eds.), *Economics of the Environment*, W.W. Norton and Co., Nueva York, 1972, pp. xix a xxxiii.

## Gráfico A-2

### CALIDAD OPTIMA DEL MEDIO AMBIENTE

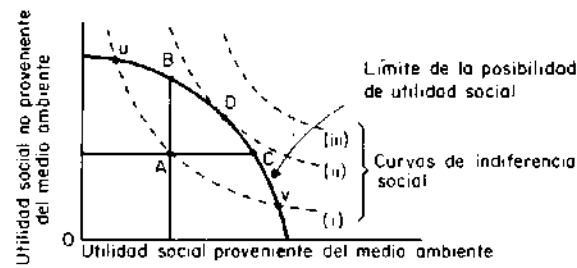


Fuente: Adaptación de R. Haveman, "On Estimating Environmental Damage"; A Survey of Recent Research in the United States, en OECD. Environmental Damage Cost, París, 1974, pag. 110

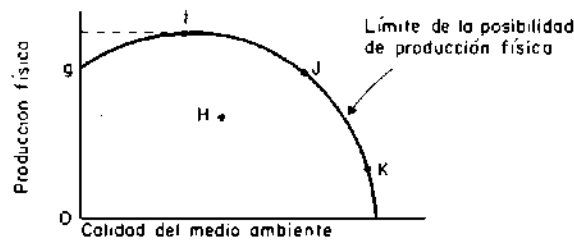
Gráfico A-3

CRITERIOS DE EFICIENCIA EN EL COMPROMISO  
ENTRE PRODUCCION Y CALIDAD DEL  
MEDIO AMBIENTE

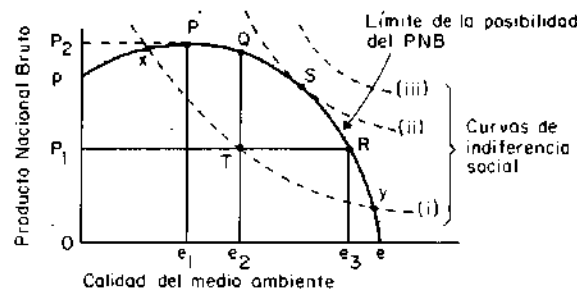
A: LIMITE DE LA POSIBILIDAD DE UTILIDAD SOCIAL



B: LIMITE DE LA POSIBILIDAD DE PRODUCCION FISICA



C: LIMITE DE LA POSIBILIDAD DE PRODUCTO  
NACIONAL BRUTO



Fuente: Adaptación de R. and N.S. Dorfman, *Economics of the Environment* WW Norton & Co. N.Y. 1972. *Op. cit.*, pp. XXI-XXV, and J.L. Cohon and D.H. Marks (eds) "Multiple Screening Models and Water Resources Investment" *Water Resources Research*, vol. 9, N°4, Agosto de 1973, p. 827.

Como puede observarse en dicho gráfico, si una economía opera en el punto A, el traslado a cualquier punto situado entre u y v en la curva de posibilidades de utilidad resultará más eficiente desde el punto de vista social. Por definición, una economía que se encuentre en A es ineficiente puesto que si se combinan en otra forma los recursos podrían aumentar ambas clases de utilidad. El traslado a cualquier punto de la curva situado entre B y C constituirá una solución eficiente en el sentido de Pareto puesto que aumenta el bienestar total sin posibilidades de que disminuya el bienestar de ningún grupo de la sociedad.<sup>180</sup> El traslado al punto D es óptimo en el sentido de que es el punto de tangencia con la curva más alta de indiferencia social, a lo largo de la cual el valor de la función del bienestar social global es constante. Este óptimo sólo es relativo a una determinada distribución del ingreso. En América Latina se han sostenido argumentos de peso en favor de la redistribución del ingreso. Cuando una distribución determinada no satisface los estándares de la sociedad, el valor que resulta óptimo de acuerdo con la teoría de Pareto no es el máximo de bienestar. En estos casos, se puede seguir una política de desarrollo deliberada que reduzca el bienestar de algunos grupos de la sociedad. Teóricamente, esto se reflejaría en curvas de indiferencia social de configuración diferente que tendrían puntos de tangencia con la frontera de posibilidades de utilidad situados fuera del margen paretiano óptimo BC. Las relaciones anteriores sólo tienen valor en la medida en que sirvan para esclarecer los problemas conceptuales; no tienen aplicación práctica en la toma de decisiones puesto que no se cuenta con una medida significativa para la función de bienestar social y la utilidad social global, o sus componentes ambientales o de otra naturaleza.

En el gráfico A-3 (B) se indica la relación entre la producción física de bienes y servicios y la calidad ambiental. A lo largo del margen de posibilidades de producción *GI*, la producción total aumenta a medida que mejora la calidad del medio ambiente, y a partir de entonces la producción declina a la par que mejora la calidad del medio ambiente. Una economía que opere en el punto H será más eficiente en cualquier punto situado en la curva *Ie*. Sin embargo, no hay razón para concluir que un punto como J o K sea más eficiente que cualquier otro, y además, existe el problema de encontrar una unidad de medida aplicable a una producción heterogénea.

En el gráfico A-3 (C) se indica la misma relación que el gráfico A-3 (B) en que el producto se expresa en términos monetarios como producto interno bruto. La forma de las curvas de indiferencia social supuestas indica que una economía que opere de manera ineficiente en el punto T

<sup>180</sup> En el valle del Rin, donde inevitablemente se producen conflictos, se han aplicado al problema del control de la contaminación normas sobre la toma de decisiones que de acuerdo con la teoría de Pareto resultarían aceptables. El modelo se utiliza para generar un conjunto de resultados aceptables de acuerdo con Pareto, en que las limitaciones políticas, económicas y técnicas menoscaban las opciones factibles. Estas opciones se introducen en el proceso de toma de decisiones. Véase Gross y Ostrom, *op. cit.*

debería tratar de trasladarse a algún punto situado entre  $x$  e  $y$  y en la frontera de posibilidades del producto interno bruto. Pese a que este planteamiento del problema es superior a los otros dos por cuanto se conoce al menos una variable (producto interno bruto), nada se sabe sobre la forma de la curva de transformación producto interno bruto-calidad del medio ambiente  $pe$ . Además, tampoco se señala el punto en que opera realmente la economía. Gran parte de la discusión sobre el manejo del medio ambiente supone que, en general, las economías operan en algún punto situado en el área bajo  $pP$ . En este caso, el mejoramiento de la calidad del medio ambiente se convierte en requisito previo para aumentar el producto interno bruto. La consecuencia alternativa es que las economías operen en el área situada bajo  $Pe$ . Si la economía funciona bajo  $pP$  la persona encargada de administrar el medio ambiente debe al menos procurar que la calidad de éste mejore hasta alcanzar el punto  $e_1$ . Si la economía opera en  $T$  el problema decisivo al seleccionar los proyectos de desarrollo es la ponderación relativa que se asigna al traslado del producto interno bruto de  $P_1$  a  $P_2$  frente al mejoramiento de la calidad del medio ambiente de  $e_2$  hacia  $e_1$ . Los recursos pueden distribuirse de manera más eficiente mediante un traslado en cualquiera de los tres sentidos que se indican:

- i) hacia el segmento  $xQ$ , aumentando el producto interno bruto a expensas de la calidad del medio ambiente;
- ii) hacia el segmento  $Ry$ , aumentando la calidad del medio ambiente a expensas de la reducción del producto interno bruto, y
- iii) hacia el segmento  $QR$ , en que aumentan ambos.

El empleo del producto interno bruto como indicador del desarrollo social y económico se critica justificadamente por una serie de motivos. Sin embargo, cuando lo que interesa es evaluar los proyectos de desarrollo y sus efectos en el medio ambiente puede estimarse que el incremento esperado del producto interno bruto (beneficio) que emana de un proyecto es un elemento de la decisión puesto que proporciona un índice para comparar las opciones.

Los economistas han centrado la atención en la forma de eliminar la diferencia entre los costos marginales privados y sociales, con lo cual se eliminarían o reducirían los efectos perjudiciales de la actividad humana en el medio ambiente. Lamentablemente no se han ideado medios apropiados para internalizar la totalidad de tales costos sociales.<sup>181</sup> Las principales dificultades para resolver el problema son los obstáculos administrativos para manejar la situación, la falta de información sobre la naturaleza y magnitud de las repercusiones ambientales de muchas actividades y la dificultad que representa evaluar las preferencias reales de la sociedad.

La dificultad radica en la forma de utilizar los conceptos anteriores como punto de partida para elaborar una política sobre la calidad del

<sup>181</sup> Véase D.W. Pears y S.G. Stumey "Private and social costs and benefits: A note on terminology", *The Economic Journal*, vol. 76, marzo de 1966, pp. 152 a 158.

medio ambiente, es decir, llevar a cabo una estimación empírica de las funciones de los costos y del daño. Los problemas que plantea realizar esta clase de estimación son enormes, ya que obviamente la relación entre las actividades de producción-consumo, y las posibilidades de protección y el deterioro del medio ambiente es sumamente compleja.

El obstáculo más importante que debe enfrentarse cuando se procura aplicar los conceptos parece ser su naturaleza manifiestamente aleatoria a causa de la dificultad de obtener conocimientos acerca del futuro. Toda medida que se adopte en relación con el manejo del medio ambiente debe basarse en la experiencia previa. Lamentablemente, la experiencia histórica es sólo una guía imperfecta respecto de lo que sucederá en el futuro y por lo tanto, es posible que las medidas que se adopten para proteger el medio ambiente sean insuficientes o indebidamente restrictivas. Además, la constante variación de las funciones debido a la naturaleza dinámica del mundo real haría imposible alcanzar el punto óptimo; es probable que las decisiones adoptadas en un momento determinado comprometan recursos que a mayor plazo produzcan baja rentabilidad.

## *2. Evaluación de criterios reguladores para preservar la calidad ambiental*

Las dificultades antes bosquejadas se han traducido en una controversia sobre el manejo del medio ambiente que se centra en la obsolescencia o quiebre del mecanismo de mercado como instrumento de política pública o como ayuda al sector público, para hacer más eficiente la toma de decisiones respecto de la asignación de recursos, la preservación de la calidad del medio ambiente a largo plazo y la distribución equitativa de los frutos del proceso económico. Koenig, Cooper y Falvey expresan que "en principio... la economía de mercado... no puede funcionar como mecanismo de regulación para administrar el desarrollo y el funcionamiento de nuestro sistema de mantención de la vida en el marco de un ambiente restrictivo... las fuerzas económicas influyentes y dominantes deben ser supeditadas por otros instrumentos de administración social".<sup>182</sup>

Las dos principales objeciones que se formulan son: primero, que la estructura del mercado, que determina la relación de precios del intercambio y los precios internacionales de los productos básicos, no refleja ade-

<sup>182</sup> H.E. Koenig, W.E. Cooper y J.M. Falvey, *Engineering for Ecological, Sociological and Economic Compatibility*, Institute of Electrical and Electronic Engineers Inc. (IEEE), Transactions on Systems Management and Cybernetics, SMC-2, julio de 1972, p. 331. Véanse, además, Ignacy Sachs "Environmental quality management and development planning: Some suggestions for action", *Development and Environment*, Mouton, París, 1972, pp. 130 a 131, y Nicholas Georgescu-Roegen "Energy and economic myths", *Ecologist*, vol. 5, Nº 5, junio de 1975, pp. 164 a 174, y vol. 5, Nº 7, agosto de 1975, pp. 242 a 252.

cuadamente las metas sociales de largo plazo para el uso de los recursos, la producción, la tecnología, las modalidades de consumo y la distribución internacional del consumo.<sup>183</sup> Además, aceptar la estructura de precios dominante tanto en el plano intranacional como internacional entraña aceptar el *statu quo*, en circunstancias que lo que subyace a la preocupación por la calidad del medio ambiente es que las actuales modalidades de producción y consumo son dispendiosas, perjudiciales para la productividad de largo plazo del sistema de mantención de la vida, y poco equitativas desde el punto de vista social.

Segundo, el mercado no determina la utilización eficiente de los bienes públicos (aquellos cuyo consumo por una persona no reduce la cantidad disponible para el consumo de otros), o los recursos de propiedad común (aquellos cuyos derechos de uso, por razones materiales o institucionales, deben ser colectivos más que individuales).

Hasta ahora, los modelos económicos han acusado la tendencia a atribuir valor cero a los servicios ambientales debido a que es difícil si no imposible reducir a términos monetarios el intercambio de elementos materiales y de energía con el medio ambiente. Además, aun en los casos en que el precio de los recursos naturales se determine en el mercado, y suponiendo que se corrijan los inconvenientes señalados en dicho precio, prácticamente no se considerarán las necesidades de las generaciones futuras. Los precios fijados por la actual generación de abastecedores y consumidores se basan en la expectativa de que la capacidad del sistema natural de suministrar insumos y absorber los desechos no se verá afectada por el aumento sostenido de la población y de la actividad económica. No existe fundamento racional para fijar un precio que conservaría los recursos para beneficio de las generaciones futuras.<sup>184</sup> De esta manera, el mecanismo del mercado, como instrumento para distribuir los recursos, es incapaz de tener presente que, en definitiva, el consumo material de la sociedad está limitado por la disponibilidad de servicios ambientales, especialmente de energía.

Si se considera que el sistema de mercado no está en condiciones de distribuir los recursos para mantener o mejorar la calidad del medio ambiente de acuerdo con las aspiraciones de la sociedad, hay que poner en juego la alternativa de la regulación, por lo cual las decisiones relativas a la distribución de los recursos se adoptan sin considerar los precios del mercado y se aplican instrumentos sociales de control (económicos, políticos y legales) para garantizar que la administración del desarrollo sea deseable desde el punto de vista social y ecológicamente compatible con el medio ambiente. Una de las cuestiones fundamentales es determinar cuáles han de ser los criterios de eficiencia que se aplicarán en los procesos de decisión de un sistema de esta naturaleza.

<sup>183</sup> PNUMA, *Medio ambiente y desarrollo*, op. cit., p. 8.

<sup>184</sup> Georgescu-Roegen, op. cit., pp. 249 a 251.

Se ha sostenido que antes de reemplazar un sistema de mercado —que ya está sujeto a un conjunto de limitaciones legales, monetarias y políticas— por un sistema de regulación, hay que tener un conocimiento mucho más completo de:

a) el funcionamiento del sistema de mercado que se sujeta a limitaciones;  
b) la naturaleza del sistema de regulación que corregiría las deficiencias del mercado, y

c) el modo como podría realizarse la transición de un sistema a otro.<sup>185</sup> Esta posición se basa en la premisa de que el mecanismo regulador no es gratuito desde el punto de vista social, ni infalible y, que por lo tanto, podría justificarse el uso modificado del sistema de precios a fin de simplificar los métodos de administración del medio ambiente, reducir la cantidad de información que se requiere para tomar decisiones y permitir la adaptación de la estructura institucional existente. Por ejemplo, en el campo de la calidad del agua, las soluciones económicas recomendadas generalmente han estado relacionadas con los costos, y han consistido, por ejemplo, en cargos, subsidios y un “mercado de derechos de contaminación” (derechos a utilizar el agua como medio para eliminar los desechos, de la misma manera que se otorgan mercedes de aguas para la agricultura).<sup>186</sup> Cuando se utilizan incentivos a través de un sistema de cargos se supone que éstos tienden a minimizar el costo del control, que su cumplimiento es más fácil de imponer que los reglamentos, y que constituirán un estímulo permanente para adoptar tecnologías que reduzcan a un mínimo la contaminación.

Debido a las imperfecciones del mercado que le impiden corregir la diferencia entre los costos privados y sociales, se ha recurrido cada vez más a la reglamentación como un medio para resolver los problemas que plantean las consecuencias ambientales de la actividad económica. Sin embargo, la reglamentación presenta una serie de inconvenientes debido a su arbitrariedad y a la necesaria rigidez que imponen los problemas relacionados con su cumplimiento. En numerosos casos el resultado ha sido una combinación de impuestos, subsidios y normas ambientales arbitrarias que no guardan mucha relación con la distribución de los costos y beneficios sociales. A juicio de Kneese y Schultze: “El criterio favorable a la reglamentación enfrenta una disyuntiva ineludible. Si el sistema es lo suficientemente sencillo como para ser manejado por una burocracia central, lo más probable es que sea ineficiente. Pero si procura ajustarse a la enorme variedad de la economía... la labor de reglamentación es insuperable”.<sup>187</sup>

<sup>185</sup> R.H. Coase, “The problem of social cost”, *The Journal of Law and Economics*, octubre de 1960, pp. 1 a 44.

<sup>186</sup> Véanse Allen V. Kneese y Charles L. Schultze, *Pollution, Prices and Public Policy*, Brookings, 1975, pp. 85 a 96, y J.A. Dales, *Pollution, Property and Prices*, University of Toronto, 1968.

<sup>187</sup> Véase Kneese y Schultze, *op. cit.*, p. 91.

Otra faceta que presenta el manejo de los recursos a través de la reglamentación es la forma en que el organismo regulador establece sus normas. Puede funcionar como un intercambio reiterado con los elementos que lo constituyen, tratar de llegar al consenso con quienes son objeto de la reglamentación y resultan favorecidos por el programa de administración. Alternativamente, puede el organismo desempeñar un papel rector, formulando objetivos para alcanzar el bienestar social. Puede fijar valores sociales para los beneficiarios potenciales basándose en que dada la complejidad de las materias, éstos no están en condiciones de tomar decisiones adecuadas. En tales casos, quizá haya que ofrecer capacitación en materia de tecnologías nuevas y estilos de vida diferentes, antes de que los grupos beneficiarios locales puedan participar efectivamente en las decisiones de desarrollo y administración relacionadas con la calidad del medio ambiente.<sup>188</sup>

Se reconoce ampliamente que se necesita una reglamentación para limitar la degradación del medio ambiente. Pero cabe preguntarse ¿qué reglamentación, dado que los valores sociales morales y éticos son establecidos por la sociedad en su conjunto y no por un solo decisor?

### *3. Evaluación de proyectos, evaluación de los efectos ambientales y modelos*

#### *a) La evaluación de proyectos*

El manejo de la calidad ambiental depende de la asignación de recursos, suponiendo que la sociedad sea capaz de desarrollar objetivos que se articulen y transmitan a los órganos administrativos mediante el proceso político. El campo que se ocupa de la asignación de los recursos, pero no de los objetivos de la sociedad, es la economía, y el instrumento que suele utilizarse para medirla es el análisis costo-beneficio o la evaluación de proyectos, cuyas bondades y defectos han recibido una atención considerable.<sup>189</sup>

En los últimos años se han introducido una serie de técnicas para examinar las dimensiones ambientales de las decisiones en materia de desarrollo, que permiten consolidar la evaluación de los proyectos a fin de hacerla más acorde con las inquietudes de la sociedad relacionadas con la distribución del ingreso y la calidad ambiental y no sólo con lo que parecía ser una preocupación exclusiva por el máximo rendimiento y el crecimiento económico. Dichas técnicas pueden dividirse en dos clases:

i) las que procuran demostrar que todas las interacciones posibles en y entre los sistemas naturales y socioeconómicos llevan algún indicio de su

<sup>188</sup> Véase PNUMA/UNEP/GC/80, *Ecodevelopment*, Nairobi, 1976, p. 17.

<sup>189</sup> Véanse I.M.D. Little y J.A. Mirrlees, *Project Appraisal and Planning for Developing Countries*, Heinemann, Londres, 1974; L. Squire y H.G. van de Tak, *Economic Analysis of Projects*, Johns Hopkins, Baltimore, 1975; y *Guidelines for Project Evaluation*, ONUDI, N.Y., 1972.

importancia relativa —es decir, corresponden a los llamados informes de los efectos ambientales que suelen acompañar y calificar al informe habitual sobre evaluación de proyectos,<sup>190</sup> y

ii) las que procuran abordar las incertidumbres inherentes al comportamiento de los sistemas naturales y sociales y los incorporan formalmente en el análisis de estrategias alternativas de manejo de recursos. Habitualmente éstas suelen adoptar la forma de modelos de simulación o programación (que se utilizan como pronóstico o prescripción) y pueden incorporarse directamente al marco costo-beneficio, o incluso emplearse en la exploración dinámica de opciones de manejo de recursos de vasto alcance.<sup>191</sup>

#### b) Evaluación de los efectos ambientales

A contar de 1970 varios organismos nacionales e internacionales han exigido informes oficiales acerca de los efectos ambientales como requisito previo para aprobar algunos proyectos de desarrollo. Las directrices consisten en listas de control.<sup>192</sup>

Otros métodos se basan en matrices de efectos cruzados, planificación física y diagramas de circulación. Los métodos más utilizados son:

i) la matriz celular abierta de Leopold, en la cual 100 acciones proyectadas en el eje horizontal se ponen en relación con 88 características y condiciones del medio ambiente colocadas en el eje vertical;<sup>193</sup>

ii) el sistema Battelle, en que las características del medio ambiente figuran como una lista de componentes en cuatro rubros: ecológicos, físico-químicos, estéticos y de interés humano o social, y en que los componentes son calificados y relacionados con un índice de calidad ambiental (escala 0-1) mediante una "función de valor".<sup>194</sup>

<sup>190</sup> Para una revisión véase: M.L. Warner y E.H. Preston, *Review of Environmental Impact Assessment Methodologies*, Battelle Columbus Laboratories, Columbus, Ohio, 1973.

<sup>191</sup> Véanse Clifford S. Russell (Ed.), *Ecological Modelling in a Resource Management Framework*, RFF Working Paper QE-1, Johns Hopkins, Baltimore, 1975; D. Daetz y R.H. Pantell, *Environmental Modelling: Analysis and Management*, Dowden, Hutchinson y Ross Inc., Stroudsburg, 1973; C.S. Holling, *Modelling and Simulation for Environmental Impact Analysis*, International Institute for Applied System Analysis (IIASA) Laxemburg, febrero de 1974, y Asit K. Biswas (Ed.), *Systems Approach to Water Management*, McGraw Hill, Nueva York, 1976.

<sup>192</sup> Véanse *Environmental, Health and Human Ecologic Considerations in Economic Development Projects*, Banco Mundial, Washington D.C., 1974, y *Environmental Assessment Guidelines Manual*, Agencia para el Desarrollo Internacional, Washington D.C., septiembre de 1974.

<sup>193</sup> Véase L.B. Leopold, y otros, "A procedure for evaluating environmental impact", *United States Geological Survey*, Circular N° 645, Washington D.C., 1971.

<sup>194</sup> N. Dec, y otros, "An environmental evaluation system for water resource planning", *Water Resources Research*, N° 9, 1973, pp. 523-535; y I.C. Whitman, y otros, *Design of an Environmental Evaluation System*, Battelle Columbus Laboratories, Columbus, Ohio, 1971.

iii) la matriz de Sorensen, que utiliza una combinación de diagramas de circulación y de matrices secuenciales para evaluar las relaciones causa-efecto y las interacciones de los cambios que experimentan los sistemas naturales y las actividades de producción-consumo,<sup>195</sup> y

iv) el sistema de la planificación física, que emplea una serie de mapas superpuestos, cada uno de los cuales está relacionado con un factor ambiental; comparado con las matrices éste sacrifica la globalidad en aras de una evaluación detallada de los efectos, determinados sobre todo por las relaciones espaciales.<sup>196</sup>

También se han adaptado técnicas de insumo-producto para incorporar insumos y productos considerados tradicionalmente como externalidades, es decir, subproductos indeseables de la actividad económica, además de insumos naturales útiles pero gratuitos. La especificación de los coeficientes técnicos (insumo físico por unidad de producto o subproducto por unidad de producto) permite evaluar de manera rigurosa las transacciones "no comerciales" entre el medio ambiente y el sistema económico, y relacionar así (mediante las interdependencias sectoriales) los cambios de la calidad ambiental con los cambios de la demanda final de bienes y servicios específicos o los cambios de la estructura técnica de un sector.<sup>197</sup>

La crítica fundamental que puede hacerse a estos tipos de análisis es que se basan en un criterio rígido. En esencia, entregan un conjunto de imágenes estáticas de la realidad, las cuales pueden proyectarse para realizar comparaciones entre diversos momentos. Sin embargo, toman poco en cuenta los procesos dinámicos que caracterizan las relaciones ambientales o la incertidumbre y el riesgo implícito en la predicción de los efectos ambientales.

#### c) Los modelos

A medida que se intensifica el uso de los recursos hídricos, crece la demanda de procesos efectivos de decisión aplicables a los problemas de manejo del agua. En este sentido, en los últimos quince años o más se han dedicado muchos esfuerzos al desarrollo de dichas técnicas, especialmente

<sup>195</sup> J. Sorensen, *A Framework for the Identification and Control of Resource Degradation and Conflict in the Multiple Use of the Coastal Zone*, University of California, Berkeley, 1971.

<sup>196</sup> Ian McHarg, *Design with nature*, Natural History Press, Garden City, N.Y., 1969, pp. 31-41; Ian McHarg, "A comprehensive route selection method", *Highway Research Record*, N° 246, 1968, pp. 79-88; y T.M. Kraus Kopf y D.C. Bunde, "Evaluation of environmental impact through a computer modelling process", en *Environmental Impact Analysis: Philosophy and Methods*, (R. Ditton y T. Goodale, eds.), University of Wisconsin, Madison, Wisconsin, pp. 107-125.

<sup>197</sup> W. Leontief, "Environmental repercussions of the economic structure: An input-output approach", *The Review of Economics and Statistics*, vol. LII, N° 3, agosto de 1970, pp. 262-271; W. Izard y R. Van Zele, "Practical regional science analysis for environmental management", *International Regional Science Review*, vol. 1, N° 1, 1975, pp. 1-24, y T.R. Lee y P.D. Fenwick, "The environmental matrix: input-output techniques applied to pollution problems in Ontario", *Water Resources Bulletin*, vol. 9, N° 1, febrero de 1973, pp. 25-33.

por parte de ingenieros, economistas y analistas de sistemas. El programa hídrico de Harvard alcanzó un nivel más elevado de complejidad económico y de ingeniería en la construcción de modelos, en los procedimientos de planificación y en los métodos analíticos que constituyen el eje de los procesos decisorios en el manejo de los recursos hídricos.<sup>198</sup> Desde entonces, se ha realizado un considerable perfeccionamiento de estas técnicas y se han desarrollado planteamientos más completos con respecto a la toma de decisiones. Esto se ha debido en gran parte a que al evaluar las inversiones en el campo de los recursos hídricos, se ha ido tomando cada vez mayor conciencia de la necesidad de considerar otros objetivos, además de los de eficiencia económica. Se ha dedicado mucho esfuerzo al desarrollo de una metodología para cuantificar los efectos ambientales de diversos planes de desarrollo de los recursos hídricos, así como a la formulación de técnicas que permitan decidir entre objetivos múltiples, esto es, capaces de considerar en alguna medida la calidad ambiental entre diversos objetivos muchas veces conflictivos o desproporcionados.<sup>199</sup>

La especificación de un plan para desarrollar los recursos hídricos de una región implica la siguiente secuencia de etapas:

i) seleccionar y dimensionar los componentes del sistema hídrico, como embalses, canales de desviación, zonas por regar o instalaciones de tratamiento de aguas servidas;

ii) programar la construcción de los diversos componentes en el horizonte temporal económico del proyecto, y

iii) manejar el sistema para cumplir con los objetivos fijados. Es evidente que existirá interacción entre las diversas etapas, e idealmente se necesitaría una técnica de planificación capaz de enfrentar simultáneamente las tres etapas a fin de llegar a una solución total "óptima". Sin embargo, ello sólo es posible para los sistemas de menor importancia, y el procedimiento común consiste en abordar separadamente cada una de las etapas, lo que no da como resultado una solución total óptima. Esto puede exigir un modelo de clasificación estocástico de programación lineal para la primera etapa, un modelo de programación dinámica para la segunda etapa y un modelo de simulación para evaluar el resultado de un conjunto limitado de opciones de política operativa en la tercera etapa.<sup>200</sup>

<sup>198</sup> A. Maas, y otros, *Design of Water Resource Systems*, Harvard University Press, Cambridge, Mass., 1962.

<sup>199</sup> Véase J.L. Cohon y D.H. Marks, "A review and evaluation of multiobjective planning techniques", *Water Resources Research*, vol. II, N° 2, abril de 1975, pp. 208-220, y D.P. Loucks, en C.R. Blitzer y otros (eds.), *Economy-wide Models and Development Planning*, Oxford University Press, 1975, pp. 213-233; R.M. Tall, y otros (eds.), *Economic Modelling for Water Policy Evaluation*, North Holland-American Elsevier, Amsterdam, 1976, y "Conflicts in water resource planning", en E.F. Gloynr y W.S. Butcher, *Water Resources Symposium N° 5*, Center for Research in Water Resources, Universidad de Texas, Austin, 1974.

<sup>200</sup> Véase H.D. Jacoby y D.P. Loucks, "Combined use of optimization and simulation models in river basin planning", *Water Resources Research*, vol. 8, N° 6, 1972, pp. 1401-1414.

Dichos planteamientos en general sólo procuran definir las tendencias o acontecimientos más favorables desde el punto de vista económico y presentarlos a los decisores. La necesidad de considerar otros objetivos, como por ejemplo, los efectos ambientales y sociales, hace entrar la planificación de los recursos hídricos en otro plano de complejidad. Es especialmente difícil establecer el modo de cuantificar objetivos que representen medidas realistas de los efectos ambientales y sociales, como así también abordar la incompatibilidad entre objetivos, y establecer hasta qué punto se puede sacrificar un objetivo en beneficio de otro. Debido a la incertidumbre que provocan las presiones políticas, los esquemas de comportamiento social, los efectos ambientales o la variabilidad hidrológica, no se puede garantizar que la selección de un plan óptimo conduzca a la realización de los objetivos.

La demanda de técnicas para abordar objetivos múltiples aplicables a la toma de decisiones respecto de los problemas de planificación de los recursos hídricos ha dado origen a avances en diferentes planos. Puede ponerse en duda la flexibilidad de las técnicas formales de optimación basadas en programación matemática para afrontar la complejidad de las decisiones del mundo real. Sin embargo, se ha tratado de extender las técnicas de optimación de un solo objetivo a fin de hacerlas aplicables a objetivos múltiples. Tratándose de la programación lineal, de la optimación de objetivos múltiples se desprende el concepto de optimación de vectores. Sin embargo, un vector no puede estrictamente maximizarse o minimizarse, y la función objetivo establecida en forma vectorial debe ser transformada en una función escalar. Esto se logra aplicando un conjunto de ponderaciones óptimas a las diversas funciones objetivo, o bien empleando un método de restricciones que implica establecer funciones de transacción, es decir, basadas en la comparación de ventajas y desventajas (*trade-off*) entre los objetivos<sup>201</sup>.

La participación activa del decisor en las diversas etapas del procedimiento de optimación es el objeto de un método conocido como SEMOPS (*sequential multi-objective problem solving*), proceso secuencial para resolver problemas de objetivos múltiples. Este planteamiento se basa en que un decisor maximiza o minimiza porque no puede comparar las ventajas o desventajas entre un objetivo y otro. El SEMOPS utiliza de manera cíclica un sustituto de función objetivo basado en las metas y en las aspiraciones del decisor respecto del cumplimiento de estas metas.<sup>202</sup>

Una de las técnicas para abordar objetivos múltiples que ha alcanzado notoriedad en los últimos años y que ha sido aplicada a una amplia gama

<sup>201</sup> Véase J.L. Cohon y D.H. Marks, "Multiple screening models and water resource investment", *Water Resources Research*, vol. 9, Nº 4, agosto de 1973, pp. 826-836, y W.L. Miller y D.M. Byers, "Development and display of multiple-objective project impacts", *Water Resources Research*, vol. 9, Nº 1, febrero de 1973.

<sup>202</sup> Véase D.E. Monarchi y otros, "Interactive Multi-objective Programming in Water Resources: A Case Study", *Water Resources Research*, Vol. 9, Nº 4, 1973, págs. 837-850.

de problemas de decisión es la teoría de la utilidad de atributos múltiples que se basa en la teoría de la decisión estadística más que en la optimación matemática. Por esta razón dicha teoría tiene la ventaja de tratar la incertidumbre en forma rigurosa.

El criterio de análisis basado en la decisión estadística comprende cuatro etapas: estructuración del problema; cuantificación de las incertidumbres; cuantificación de las preferencias del decisor, evaluación de las opciones.<sup>203</sup> La estructuración del problema supone su definición y la identificación del decisor. Una vez especificados los objetivos, se asocia a cada uno de ellos uno de los atributos utilizados para indicar en qué grado se cumple. La cuantificación de las incertidumbres supone describir la incertidumbre respecto de las posibles consecuencias de cada opción; esto se consigue utilizando una distribución de probabilidades que permita describir qué consecuencias pueden producirse para una alternativa dada, y la probabilidad relativa de las mismas. Las distribuciones de probabilidades que se requieren pueden especificarse utilizando cualquier combinación de modelos analíticos, modelos de simulación, evaluaciones subjetivas e información disponible y pertinente.

La cuantificación de las preferencias supone evaluar la estructura de preferencias del decisor frente a múltiples objetivos.

Dado que los atributos vinculados a cada uno de los objetivos se miden en unidades diferentes, emplea una medida no mensurable para determinar la conveniencia de cada uno de ellos denominada utilidad (normalizada de 0 a 100), que se define a través de la interacción con el decisor. De esta manera se obtiene la denominada función de utilidad. Una vez establecidas las funciones de utilidad para todos los atributos, éstas pueden combinarse para permitir que se obtenga un valor global de utilidad. Dicho valor supone que el decisor compara las ventajas y desventajas entre los objetivos y verifica que las funciones de utilidad puedan combinarse por adición o multiplicación.

La evaluación de opciones consiste en calcular la utilidad probable de cada una de ellas; la opción preferida será la que rinda el máximo de utilidad. Pueden entonces realizarse análisis de sensibilidad respecto de los parámetros de las distribuciones de probabilidad y de la función de utilidad, a fin de apreciar qué efecto tienen en la utilidad probable de las opciones.<sup>204</sup>

Este examen de las técnicas decisorias para abordar objetivos múltiples muestra que la mayor parte de estos procedimientos se apoyan en técnicas matemáticas formales para estructurar el problema de decisión y definir un

<sup>203</sup> R.L. Keeney, *Multi-attribute utility analysis: A brief survey*, IIASA, Research Memorandum N° RM-75-43, Laxenburg, 1975.

<sup>204</sup> R.L. Keeney y E.F. Wood, *An Application of Multi-attribute Utility Theory to Water Resources Planning*, Water Resources Research, 1977 (en prensa) y A.R. Ostrom y J.G. Gross, *Application of Decision Analysis to Pollution Control: The Rhine River Study*, International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), agosto de 1975.

plan óptimo de desarrollo. Al hacerlo, invariablemente deben adoptarse ciertos supuestos, a fin de que el problema sea abordable, y siempre existe la posibilidad de que el formalismo matemático y estadístico tienda a oscurecer los problemas más decisivos. Para evitarlo, actualmente se utilizan de preferencia técnicas en las cuales el decisor está sujeto a interacciones; la teoría de la utilidad de atributos múltiples parecería ofrecer algunas posibilidades en este campo, pero ciertos aspectos de la técnica necesitan mayor desarrollo antes de que ésta pueda captar en forma realista los elementos esenciales de las situaciones de decisión reales.

Todas las técnicas decisorias consideradas más arriba son estáticas, en cuanto intentan identificar un plan de desarrollo óptimo que regiría durante la vida del proyecto. Tal estrategia sería realista si las consecuencias de un determinado plan de desarrollo fueran completamente predecibles dentro de una situación determinista; sin embargo, en la mayoría de los sistemas naturales esto no ocurre y por lo tanto debe considerarse el componente dinámico del proceso decisorio.

El carácter dinámico de dicho proceso incorpora el concepto central de incertidumbre cuando se introducen dimensiones ambientales en las decisiones de manejo o en el diseño de proyectos en materia de recursos hídricos. Pueden identificarse dos fuentes de incertidumbre de acción recíproca:

i) la incertidumbre que es propia de un proyecto o de una situación concreta de manejo del agua, por ejemplo, el comportamiento de un ecosistema al intensificarse su uso, y

ii) la incertidumbre generada externamente a la situación de manejo del agua, por ejemplo, en la tecnología, las relaciones comerciales o la macro política gubernativa. Se podría determinar los márgenes probables de incertidumbre y establecer los riesgos en función de las probabilidades de que se produzca cada resultado.<sup>205</sup>

Para tratar de desentrañar algunos de estos problemas los analistas han recurrido a los modelos de simulación. También se han construido modelos en gran escala de simulación de los recursos hídricos, que toman en cuenta los aspectos del manejo, y que parecen tener una gran capacidad para responder a una serie de interrogantes sobre los efectos ambientales.<sup>206</sup> Representan un medio potencial para superar varias deficiencias de los métodos actuales de evaluación de los efectos ambientales. Sin embargo, la mayoría se han concentrado en aspectos hidrológicos o de calidad del agua, y han pasado por alto otros componentes importantes del ecosistema.

Además, se han utilizado modelos para describir y explicar el comportamiento de los ecosistemas o de sus componentes cuando éstos se ven sometidos a una alteración provocada por el desarrollo. Una práctica co-

<sup>205</sup> Véase Little y Mirreles, *op. cit.*, p. 306.

<sup>206</sup> Véanse Jacoby y Loucks, *op. cit.*, y "Models for water quality management", A.K. Biswas (Ed.), McGraw-Hill, Nueva York, para publicarse en 1978.

riente consiste en generar probabilidades de variación en el caudal de los ríos partiendo de una información hidrológica limitada. Se han empleado modelos de simulación de flujos de energía tanto para conceptualizar como para evaluar el efecto de acciones complejas en el medio ambiente. Se han derivado insumos y productos de energía para diferentes situaciones de manejo como criterios para estimar la eficiencia del uso de la energía y los cambios de la calidad ambiental.<sup>207</sup> Desde fines de los años sesenta se han construido modelos de simulación de los ecosistemas en gran escala, a raíz de una serie de estudios del bioma (pastizales, desiertos, tundras, bosques de caducifolias y coníferas) que forman parte del Programa Internacional de Biología.<sup>208</sup> Los modelos del bioma producidos en dichos estudios han permitido comprender mucho más a fondo la estructura y la dinámica de los ecosistemas, especialmente entre quienes elaboran los modelos; sin embargo, la experiencia recogida no parece señalar que éstos se presten fácilmente para responder a preguntas de evaluación específicas sobre manejo y efectos ambientales. Esto sucede en parte porque, a semejanza de los sistemas Leopold y Battelle de evaluación de los efectos sobre el medio ambiente, dan gran valor a la globalidad y están hechos para garantizar que todos los componentes posibles se vinculen entre sí, normalmente a través de corrientes de energía o de materiales. Así, aunque toman en consideración las relaciones no lineales y pueden simular con exactitud procesos ambientales relativamente complejos, muestran deficiencias en la descripción de muchos fenómenos dinámicos, especialmente aquellos vinculados a las interacciones entre la población. Además, consideran prominentemente los componentes de la fauna y de la flora de los ecosistemas naturales, por lo cual pasan por alto muchas de las relaciones que interesan a la planificación de los recursos hídricos.

En el mundo real, el proceso decisorio es tan complejo que es razonable preguntarse si cualquiera de las técnicas decisorias disponibles actualmente pueden aspirar a captar los principales elementos de un problema decisorio. En la mayoría de los casos, la toma de decisiones constituye un proceso dinámico; es decir, el decisor responde a resultados imprevistos, y puede no regirse por un plan de desarrollo preconcebido.

No se han utilizado técnicas refinadas de elaboración de modelos para abordar los complejos problemas de la interrelación entre los recursos hídricos, el desarrollo económico y la calidad del medio ambiente. Esto se debe, en parte, al limitado conocimiento de las interrelaciones entre la actividad económica, los efectos ambientales y los cambios en los parámetros de calidad del medio ambiente. Según Dorfman y Jacoby, "...la ecología económico-hidrológico-biológico-política de una cuenca fluvial viviente

<sup>207</sup> H.T. Odum, "Environment, power and society", *Academic Press*, Nueva York, 1971.

<sup>208</sup> B.C. Patten (Ed.), "Systems analysis and simulation in ecology", vol. III, *Academic Press*, Nueva York, 1975.

trasciende ampliamente la capacidad de cualquiera de los métodos de análisis de la toma de decisiones que existen en la actualidad".<sup>209</sup> Incluso en el campo más circunscrito de la calidad del agua, ciertas relaciones no se conocen lo suficientemente bien como para permitir que muchos factores se incorporen fácilmente a los modelos de las cuencas fluviales de gran escala. Cuando se han utilizado modelos como parte integral del proceso de planificación y de decisión, las relaciones han sido simplificadas de modo considerable. Incluso en los modelos más complejos se ha hecho necesaria la simplificación, como cuando por ejemplo, se ha empleado una sola característica ambiental como índice para representar la calidad global del agua. Los peces se utilizan para este efecto en el Ruhr Genossenschaft, y en varios estudios los niveles de oxígeno disuelto han constituido la única función objetivo.<sup>210</sup> Cuando se usan índices limitados que representan las situaciones del mundo real, que es mucho más compleja, se pueden emplear modelos que de otro modo no podrían aplicarse.

Los últimos esfuerzos desplegados para elaborar criterios flexibles que permitan adquirir con rapidez conocimientos e incorporar la experiencia a las alteraciones ambientales, se han concentrado en procedimientos iterativos y de acción recíproca. El enfoque depende de la interacción entre decisores y técnicos procedentes de una serie de disciplinas afines, los que realizan seminarios durante el curso de la investigación, en los que plantean los problemas ecológicos y de manejo, en forma simultánea, con el consiguiente enriquecimiento de las ideas. El procedimiento se apoya en dos supuestos: en primer lugar, que a pesar de la complejidad de los ecosistemas, éstos son comprensibles, y su comportamiento puede en gran parte predecirse a través de un número limitado de procesos clave, y segundo, que también a pesar de la complejidad de los problemas de manejo, puede alcanzarse un mejoramiento modificando un pequeño conjunto de decisiones básicas. De este modo, el éxito de un estudio depende de la identificación y formulación de un conjunto de cuestiones claves relativas a los procesos y a las decisiones.<sup>211</sup> Algunos ejercicios con modelos de simulación que utilizan una técnica conocida como KSIM,<sup>212</sup> en que hay pocos datos, han permitido avanzar en el estudio de las relaciones ambientales potencialmente importantes y del modo como se originan los efectos. En

<sup>209</sup> R. Dorfman y H.D. Jacoby, "A public decision-model applied to a local pollution problem", en R. y N.S. Dorfman, *op. cit.*, pág. 248.

<sup>210</sup> Véanse Ostrom y Gross, *op. cit.*, y Allen V. Knesse, *The Economics of Regional Water Quality Management*, Johns Hopkins, Baltimore, 1964.

<sup>211</sup> B.H. Walter, y otros, "A procedure for multidisciplinary eco-system research with reference to the South African Savanna Eco-System Project", *Journal of Applied Ecology*, 1977; C. Walters, "An interdisciplinary approach to development of watershed simulation models", *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 6, Nº 3, 1974, y C.S. Holling (Ed.), "Adaptive environmental and management", John Wiley and Sons, Sussex, 1978.

<sup>212</sup> J. Kane, "A primer for a new cross impact language, KSIM", *Technological Forecasting and Social Change*, Nº 6, 1972, pp. 299-313.

vez de tratar de predecir efectos ambientales concretos el enfoque procura establecer un marco sistemático para explorar las opciones de manejo de los recursos hídricos y los diseños de proyectos alternativos que reconocen en forma explícita que los acontecimientos impredecibles se traducirán inevitablemente en una discrepancia entre el comportamiento previsto y el que realmente se observa en un programa o proyecto de desarrollo de manejo del agua. Cabe suponer que el nivel actual de conocimientos no permite que un solo modelo conteste todas las preguntas y que no existe una formulación ideal para cada una de ellas. Si bien se pueden utilizar modelos para formular las cuestiones ambientales, no es obligatorio emplear estas técnicas para explorar y analizar opciones. El resultado final de cada estudio puede traducirse en propuestas de investigación, diseño de proyectos o recomendaciones de política. Sin embargo, interesa que cada ejercicio de estudio se conciba como una secuencia relacionada de dichos ejercicios. En los proyectos sobre recursos hídricos se sigue una secuencia típica, desde los estudios de prefactibilidad hasta los de evaluación posterior al término de ellos. Muy a menudo esta secuencia se detiene en la etapa del diseño, pero incluso cuando ella se prolonga, todo estudio subsiguiente suele tener un ámbito más estrecho. Con frecuencia, los estudios ulteriores obedecen a la aparición de problemas, e inevitablemente se concentran demasiado en la esfera conflictiva. Sin embargo, sería importante que el procedimiento se aplicara en las diversas etapas de la secuencia para mantener una visión amplia en cada etapa de la misma.

La escasa experiencia que se tiene hasta la fecha con este tipo de enfoque sugiere que es necesario tener presente algunas dificultades antes de que pueda aplicarse en la práctica. Al considerar las cuestiones de manejo de recursos dentro del contexto de una cuenca hidrográfica con una estructura institucional multiescalonada y superpuesta, hay organismos poderosos o grupos de intereses que pueden tomar las decisiones pertinentes o influir en ellas, lo que dificulta establecer un sistema racional o coherente. Además, los criterios sociales y políticos de decisión son caprichosos y pueden variar de la noche a la mañana con crisis como las políticas, las inundaciones o las pestes. Debido a esta estructura institucional, el diálogo entre el científico y los decisores o gestores, que puede ser muy fructífero mientras se construye el modelo, puede interrumpirse a medida que surgen los verdaderos conflictos.<sup>213</sup> Los académicos que participan en la tarea podrían carecer de la fortaleza y tolerancia para resistir las presiones y proseguir su labor pese a estos conflictos institucionales. Puede que tampoco les atraiga dedicarse a una actividad que tiene un alto riesgo de fracaso y que exige atención casi exclusiva durante un período prolongado. Hay pocos incentivos para encargarse de un proyecto cuando la recompensa es su publicación. No obstante, el uso de modelos permite identificar los

<sup>213</sup> Para un análisis de la credibilidad de los modelos y de la comunicación entre modeladores y decisores, véase A.K. Biswas, "Mathematical modelling and water resources decision-making", *Systems Approach to Water Management*, op. cit., pág. 398-414.

vacíos de información más serios, evitar ejercicios caros que culminan en una enorme cantidad de datos inutilizables y establecer las esferas en que sea cual sea el volumen de datos, no bastaría para eliminar lo incierto o impredecible de la situación. Además, dichos enfoques brindan una base para acumular experiencia en forma sistemática, permitiendo que se puedan formular marcos conceptuales de aplicación más general.



## Anexo B

### EXTRACTOS DE LOS ACUERDOS CORRESPONDIENTES AL PROYECTO

#### 1. *Objetivos*

##### a) *Objetivo de largo plazo*

El objetivo de largo plazo del presente proyecto es mejorar la planificación y el manejo de los recursos hídricos en América Latina, con miras a conciliar la satisfacción de la necesidad de un desarrollo económico acelerado con la protección del medio ambiente, del cual el agua es precisamente un componente importante.

##### b) *Objetivos inmediatos*

El proyecto tiene los siguientes objetivos:

i) analizar los principales efectos ambientales, tanto positivos como negativos, del manejo de los recursos hídricos y conexos (suelos, bosques, etc.) de la región, sobre la base de la información disponible y el estudio de casos seleccionados;

ii) proporcionar información que ayudará a introducir nuevas pautas de planificación para la explotación de los recursos mencionados;

iii) presentar los resultados de esta labor en un seminario y a través de un cursillo, difundirlos en un informe y, en colaboración con un grupo que participe directamente en la evaluación de las dimensiones ambientales de un proyecto de uso del agua, examinar la aplicabilidad práctica de los mismos, y

iv) aportar información a la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Agua.

## 2. Descripción del proyecto

### a) Enfoque general

Durante el curso de la investigación convendría examinar el proceso de desarrollo y las pautas de consumo con miras a aligerar las presiones que se ejercen sobre el agua y demás recursos naturales. El análisis de este aspecto no debe ser demasiado minucioso, a fin de no modificar la índole del proyecto, que en la práctica está dirigido esencialmente a los aspectos ambientales del manejo y utilización de los recursos hídricos.

Se prevé que el proyecto contará con componentes importantes en materia de comunicación y capacitación destinados a garantizar la continuación de actividades generadas durante el curso del mismo, lo que se hará a través de: un examen intermedio de la marcha del proyecto, un seminario final, un curso de capacitación, un examen de la aplicabilidad de los resultados con un grupo encargado de introducir dimensiones ambientales en un proyecto concreto de desarrollo de los recursos hídricos, y publicaciones.

### b) Marco inicial conceptual

El presente proyecto y las actividades que en virtud de él se planifican se basan en la aceptación del axioma de que toda actividad en el proceso de desarrollo tiene un efecto importante, ya sea negativo o positivo, sobre el medio ambiente. En lo que respecta a los recursos hídricos, la naturaleza del efecto dependerá de una de las dos relaciones generales siguientes:

i) El efecto sobre la ecología de la región de obras destinadas a la explotación de los recursos hídricos. Por ejemplo, la construcción de represas, los sistemas de riego, la prevención de crecidas, etc.

ii) Los cambios de la forma de utilizar otros componentes del medio ambiente –por ejemplo, utilización de bosques, utilización de la tierra, modalidades de urbanización, modelos de industrialización– que influyen sobre el sistema hídrico.

En vista de las limitaciones de tiempo y de la escasez de recursos humanos y financieros, el proyecto no pretende efectuar revisiones metodológicas trascendentes ni ofrecer soluciones integrales para los problemas ambientales que se detecten en relación con el agua, sino hacer aportes prácticos que destacarán algunos de los efectos ambientales que prevalecen en la región y, mediante el análisis de su origen, ofrecer a los planificadores y decisores algunas indicaciones relativas a las consecuencias perjudiciales de determinados enfoques y las acciones que convendría llevar a la práctica para lograr efectos ambientales positivos en el desarrollo futuro de los recursos hídricos de la región.

*c) Criterios de selección de los estudios de casos*

Para los estudios de casos se hará una selección de modo que estén representados los problemas ambientales que en la actualidad aparecen como los más importantes. Dicha selección deberá basarse en consideraciones relativas tanto a las políticas aplicadas como al interés técnico.

Para la selección de los casos se considerarán criterios como los siguientes:

- Representatividad de las condiciones climatológicas;
- Representatividad de los tipos de actividad económica;
- Potencial de crecimiento demográfico y económico;
- Interés de parte de los respectivos gobiernos;
- Disponibilidad de información.

*d) Evaluación del trabajo y difusión de los resultados*

Durante la realización del proyecto, se piensa nombrar un grupo asesor de tres a cinco expertos para que se reúnan con el equipo encargado del proyecto a mediados de su etapa de ejecución, a fin de evaluar su marcha y formular sugerencias útiles.

Hacia el término del proyecto, se organizará un seminario con la participación del grupo asesor más unos 15 expertos, especialmente funcionarios de países, invitados a título personal, y representantes de organismos colaboradores, a fin de examinar el trabajo realizado y finalizar el informe.

Concluido el seminario se preparará material docente que servirá de base para dictar un curso de capacitación. Dicho curso estará destinado a profesionales de carrera de nivel medio procedentes de organismos gubernamentales vinculados con la planificación, el desarrollo y el manejo de los recursos hídricos en la región.

Se seleccionará y difundirá el material apropiado de los estudios de casos, del informe del grupo de trabajo, de los informes preparados por los consultores y del curso mencionado.

**Impresos Offset Ltda. - Santiago Chile.**